



V Jornadas de Ingeniería del Agua

**entornos fluviales y aguas de transición:
impactos de los medios urbanos**

A Coruña 25 y 26 de octubre

Editores:
Puertas J., Anta J. y Bermúdez M.



Jornadas de Ingeniería del Agua 2017.

Libro de resúmenes.

Editores:

Jerónimo Puertas Agudo

Jose Anta Álvarez

María Bermúdez Pita

A Coruña

2017

Servizo de Publicacións

Universidade da Coruña

Jornadas de Ingeniería del Agua 2017. Libro de resúmenes. Puertas, J., Anta, J. y Bermúdez, M. (Editores). A Coruña. Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións. 2017. ISBN: 978-84-9749-670-4

Edición

Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións

<http://www.udc.es/publicaciones>

© Universidade da Coruña

Distribución

Galicia: CONSORCIO EDITORIAL GALEGO. Estrada da Estación 70-A, 36818, A Portela. Redondela (Pontevedra). Tel. 986 405 051. Fax: 986 404 935. correo electrónico: pedimentos@coegal.com

España: BREOGÁN. C/ Lanuza, 11. 28022, Madrid. Tel. 91 725 90 72. Fax: 91 713 0631. Correo electrónico: webmaster@breogan.org. Web: <http://www.breogan.org>

Imprime: Xaniño Diseño Gráfico

Reservados todos os dereitos. Nin a totalidade nin parte deste libro pode reproducirse ou transmitirse por ningún procedemento electrónico ou mecánico, incluíndo fotocopia, gravación magnética ou calquera almacenamento de información e sistema de recuperación, sen o permiso previo e por escrito das persoas titulares do copyright

Índice

Presentación	1
Organización	3
Entidades	5
Ponencias plenarias	7
Estrategia de Gestión Global del Agua. <i>Álvarez Sánchez, A.</i>	9
Across the Scales of a River Basin. <i>Franca, M.J.</i>	10
Diagnóstico de los sistemas de saneamiento en el marco de la Comunidad Autónoma de Galicia. Presente y Futuro. <i>Hernández Oubiña, D.</i>	12
Minimizando el impacto de los vertidos en tiempo de lluvia. El caso de Madrid. <i>Lastra de la Rubia, A.</i>	14
Gestión integrada de los recursos hídricos en el sistema de agua urbana. Desarrollo Urbano Sensible al Agua como enfoque estratégico. <i>Suárez, J.</i>	15
Línea Temática A	17
Tecnologías de medición y transmisión de datos en sistemas de riego por gravedad. <i>Bentancor, L., Ruiz, A., Castaño, V., y Durán, P.</i>	19
Dinámica del concentrado de cobre en lechos de gravas. <i>Bustamante, N., Tapia, C., y Niño, Y.</i>	21
Esquemas numéricos en volúmenes finitos para flujos transitorios no-hidrostáticos: aplicación a la onda de rotura de presas. <i>Cantero-Chinchilla, F.N., y Castro-Orgaz, O.</i>	23
Técnicas térmicas puntuales y distribuidas para la estimación de los flujos de interacción río-acuífero. <i>Gaona, J., Lewandowski, J., y Bellin, A.</i>	25
Análisis de los modos potenciales de fallo de las presas: Valdesia, Monción, Contraembalse de Monción, Tavera, Bao, López Angostura, Hatillo, Sabaneta, Sabana Yegua y Villarpando. (República Dominicana). <i>Jiménez, M., Altarejos, L., y Alonso, M.</i>	27
Hidro-morfología en canales de aguas someras con cavidades laterales y transporte de sedimentos suspensión. <i>Juez, C., Buehlmann, I., Maechler, G., Schleiss, A. J., y Franca, M. J.</i>	29
Calibración general del método SPH para estudios en cauces. Condición de contorno de fricción y ley de semejanza. <i>López Gómez, D., Ramos del Rosario, T., Rebollo Cillán, J.J., Díaz Martínez, R., y Andrés Martín, F.R.</i>	31
Incidencia de la actividad humana y desarrollo de actuaciones de restauración sobre el complejo lagunar de Lastras de Cuéllar y Hontalbilla (Segovia). Plan PIMA Adapta. <i>López Argüeso, R., Fernández Benítez, M, Pérez Álvarez, C. y Díez de las Heras, A.</i>	33
Riego capilar por mecha en el cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) en sistema combinado de solución nutritiva y suelo, como alternativa en la agricultura urbana de Bolivia. <i>Medrano García, P., Chipana Rivera, R., Moreno-Pérez, M. F., y Roldán Cañas, J.</i>	35
Procesos de transporte de sedimentos en un cauce aluvial con modelación hidráulica bidimensional. <i>Nácher-Rodríguez, B., Vallés-Morán, F.J., Balaguer-Beser, A., Lobera, G., López-Tarazón, J.A., Vericat, D., y Batalla, R.J.</i>	37
Influencia de la implementación de una central hidroeléctrica reversible en la hidrodinámica y el comportamiento térmico del embalse de Matalavilla (Alto Sil, León, España). <i>Ramos-Fuertes, A., Palau, T., y Dolz, J.</i>	39
Modelación numérica bidimensional de la dinámica sedimentaria del río Ebro en Castejón. <i>Ribé, M., Bladé, E., y Dolz, J.</i>	41

Análisis numérico 3D de una rotura de presa mediante el uso de OpenFOAM. <i>Sánchez-Cordero, E., Boix, J., Gómez, M., Bladé, E.</i>	43
Simulación de rotura de presas aterradas con fondo móvil. Caso de estudio. <i>Sanz-Ramos, M., Olivares, G., y Bladé, E.</i>	45
Determinación de la inundación en tramos de ríos afectados por marea basado en la simulación continua de nivel. <i>Sopelana, J., Cea, L. y Ruano, S.</i>	47
Línea temática B	49
Optimización Energética en Tiempo Real de la Programación del Riego mediante Algoritmos Genéticos Multiobjetivo Paralelos. <i>Alonso, J.C., Jiménez-Bello, M.A., y Martínez, F.</i>	51
Una excursión al subsuelo de la ingeniería del agua en la Grecia arcaica: dos trabajos (y otros afanes) de Hércules. <i>Álvarez-Campana, J.M., y Suárez, J.</i>	53
Método híbrido para construir hidrogramas de diseño con datos de caudal de pico y volumen. <i>Arganis Juárez, M.L., De Luna Cruz, F., y Preciado Jiménez, M.</i>	55
Error y Sensibilidad de los Modelos 2D aplicados a Cauces Fluviales. <i>Batanero Akerman, P., Martínez González, I., y Martínez, E.</i>	57
Actualización de los modelos lluvia-escorrimento de parámetros distribuidos para las cuencas Chicoasén y Peñitas en el sureste mexicano. <i>Becerril, M., Labrada, P., Domínguez, R., Carrizosa, E., y Esquivel, G.</i>	59
Evaluación y clasificación de efectos de fugas en la red de abastecimiento de Moratalla (Murcia) para la priorización del mantenimiento de tuberías. <i>Casanova, A., Viguera-Rodríguez, A., García, J.T., y Castillo, L.G.</i>	61
Desarrollo de una metodología de desagregación manual de usos finales del agua basada en la identificación de los días representativos. <i>Castilla, S., Arregui, F., Cobacho, R., y Pastor, L.</i>	63
Espaciamiento de drenes subterráneos en regiones húmedas y subhúmedas. <i>Coras M., P.M., Reyes R., A., Diakité D., L., Sánchez A., Ma.M., y Arteaga T., E.</i>	65
Análisis de patrones espaciales de vegetación ligados a distintas teorías de optimización. <i>del Jesus, M., Díez-Sierra, J., Rinaldo, A., y Rodríguez-Iturbe, I.</i>	67
Eficiencia energética en redes de agua a presión en su fase de diseño. <i>del Teso, R., Gómez, E., Cabrera, E., y Estruch, E.</i>	69
Análisis y modelación estocástica de la serie de precipitaciones de Igueldo (San Sebastián). <i>Delgado, O., Campo, M.A., y López, J.J.</i>	71
Caracterización de patrones espacio-temporales de precipitación en la isla de Tenerife. <i>Díez-Sierra, J., Delgado Melián, P., y del Jesus, M.</i>	73
Ecuaciones regionales de caudales de Sinaloa, México. <i>Domínguez, R., Arganis, M., Carrizosa, E., y Esquivel, G.</i>	75
Plan Maestro Drenaje Pluvial de la Cuenca de Quilmes (Argentina). <i>Durán, A., y Vidal, J.</i>	77
Capacidades del modelo hidrológico TETIS versión 9. <i>Escamilla, V., Puertes, C., y Francés, F.</i>	79
Evaluación del potencial de las corrientes de marea para aprovechamiento energético mediante simulación de flujo bidimensional. <i>Fernández Suárez, D., y Álvarez Álvarez, E.</i>	81
Herramienta para la evaluación de la resiliencia en los sectores agrícola y forestal mediante tecnologías Big Data. <i>Fernández-Pacheco, V.M., Antuña Yudego, E., Álvarez Álvarez, E., Fernández Francos, J., Suárez López, M.J., Fernández-Villán, A., Carús-Candás, J.L., Wolfs, V., Ntegeka, V., Willems, P., García, M., Palacios-Orueta, A., Litago, J., y Juana, L.</i>	83
Metodología estocástica para la determinación de resguardos estacionales en presas. <i>Gabriel-Martin, I., Sordo-Ward, A., y Garrote, L.</i>	85
Nuevas experiencias derivadas del uso de sensores remotos para el desarrollo de herramientas de ayuda a la toma de decisiones. <i>García, S., Torre, G., Álvarez, E., Fernández, J., López, C.A., Campos, A.M., y Arango, R.B.</i>	87

Utilidad de las proyecciones climáticas generadas por AEMET para estudios de impacto del cambio climático sobre la ley de frecuencia de avenidas a escala nacional. <i>Garijo, C., Mediero, L., y Garrote, L.</i>	89
Predicción de inundaciones originadas por precipitaciones extremas mediante el módulo hidrológico de Iber. <i>González-Cao, J., García Feal, O., Crespo, A.J.C., Gómez-Gesteira, M., y Cea, L.</i>	91
Volumen Óptimo para un sistema de Captación de Agua de Lluvia en la FES Acatlán. <i>Herrera, J., Arganis, M., y Domínguez, R.</i>	93
Actualización de las avenidas de diseño y tránsito de las avenidas por los vasos del sistema de presas del río Santiago. <i>Hincapié, C., Domínguez, R., y Arganis, M.</i>	95
Análisis hidroquímico comparativo de la formación de los lagos mineros de As Pontes y Meirama (España). <i>Juncosa, R., Delgado, J., Cereijo, J.L., y García, D.</i>	97
Optimización de costos de bombeo en redes de distribución de agua con capacidad de almacenamiento mediante el uso del concepto de curva de consigna. <i>León-Celi, C.-F., Iglesias-Rey, P.L., Martínez-Solano, F.J., y Savic, D.</i>	98
Atenuación de luz en embalses del sur-este de la Península Ibérica. <i>León-Palmero, E., Reche, I., y Morales-Baquero, R.</i>	100
Análisis del comportamiento de una red colectiva de riego considerando la programación de riego en parcela. <i>Lima, F.A., Martínez-Romero, A., Tarjuelo, J.M., y Córcoles, J.I.</i>	102
Determinación de los cuantiles de precipitación diaria en Navarra. Análisis comparativo entre el análisis regional de frecuencias y el local. <i>López, J.J., San Martín, I., Erro, J., y Goñi, M.</i>	104
Calibración de un Sistema de Distribución de Agua Complejo a partir de variables SCADA. <i>Martinez Alzamora, F., Conejos, P., y Urban, P.</i>	106
Análisis del funcionamiento de un sistema hidroeléctrico en México con reglas de operación obtenidas para intervalos de tiempo mensual y quincenal. <i>Mendoza, R., Domínguez, R., y Arganis, M.</i>	108
Análisis integral del impacto del Cambio Climático en los regímenes de agua, crecidas y sedimentos de una rambla mediterránea. <i>Montalvo, C., y Francés, F.</i>	110
Análisis Regional de Frecuencia de Avenidas de la vertiente cantábrica y noratlántica de España. <i>Montes, J., Álvarez, M., Pertierra, L., Moralo, J., y Baztán, J.</i>	112
Análisis del riesgo de inundación mediante técnicas estadísticas avanzadas. <i>Navas, S., y del Jesus, M.</i>	114
Sistema de alerta temprana para previsión de inundaciones en campings. <i>Olivares, G., Gómez, M., y Gurrera, J.</i>	116
Sobre un modelo numérico integral para la hidrología extrema de cuencas reguladas. <i>Padilla, F., Hernández, J.-H., y Vellando, P.-R.</i>	118
Filtrado de datos procedentes de contadores inteligentes para la mejora en la desagregación automática de usos finales del agua. <i>Pastor, L., Arregui, F., y Cobacho, R.</i>	119
Estimación de hidrotipos para la evaluación del estado ecológico de ríos temporales no aforados. <i>Pedrajas, J., Jimenez, S., Estrela, T., y Francés, F.</i>	121
Empleo de los errores de balance para modular la bondad de ajuste en modelización hidrológica. <i>Pellicer-Martínez, F., Pedro-Monzonis, M., Portela, M.M., y Martínez-Paz, J.M.</i>	123
Análisis comparativo de recuperación energética de bombas trabajando como turbinas considerando rendimiento fijo y variable. Caso de estudio Vallada (Valencia). <i>Pérez-Sánchez, M., y López-Jiménez, P. A.</i> ...	125
Modelo empírico del patrón de humedad en un suelo orgánico de México con riego por goteo superficial. <i>Prado Hernández, J.V., Gonzáles Rivas, M.I, Mota Lezama, A., Carrillo García, M., Vázquez Peña, M.A., Lugo Valenzuela, H., y Valentín Paz, O.G.</i>	127
Identificación de los mecanismos dominantes en cuencas sin aforos empleando una aproximación bayesiana. <i>Prieto, C., Le Vine, N., Vitolo, C., García, E., Medina, R., y Álvarez, C.</i>	129
Cuantificación de la incertidumbre estructural de los modelos hidrológicos en predicciones en cuencas sin aforos. <i>Prieto, C., Le Vine, N., Vitolo, C., García, E., Medina, R., y Álvarez, C.</i>	131

Prospección geofísica eléctrica en la búsqueda de agua subterránea. <i>Reyes, A., Coras, P.M., y Arteaga, E.</i> ...	133
Aplicabilidad Técnica y Normativa de Reúso para Riego Agronómico. Aplicación en el Cinturón Verde de Córdoba, Argentina. <i>Reyna, S., Reyna, T., Lábaque, M., y Julia, M.</i>	135
Energía mini y micro hidráulica: aporte contra el Cambio Climático. <i>Reyna, T., Lábaque, M., Reyna, S., Riha, C., e Irazusta, B.</i>	137
Estudio de la retención y distribución de agua en muros verdes usando materiales alternativos como medio de crecimiento. <i>Rivas-Sánchez, Y.A., Moreno-Pérez, M.F., y Roldán-Cañas, J.</i>	139
Evaluación de la instalación de microturbinas en redes hidráulicas a presión. <i>Rodríguez-Pérez, A.M., Pulido-Calvo, I., Pereira-Villaseñor, M., y Domínguez-Castro, L.</i>	141
Modelización tridimensional hidrodinámica y de la calidad del agua en el Proyecto Hidroeléctrico de Ituango. <i>Rodríguez-Castillo, T., Jiménez Tobío, M., Bárcena Gómez J.-F., García Gómez, A., López Mera, F., Agudelo Restrepo, P., Morales Villa, J.F., Mesa Arroyave, J.E., Castano Giraldo, J.I., y Medina Santamaría, R.</i>	143
Identificación del origen de las tormentas que provocan las avenidas en España utilizando trayectorias de tormentas y técnicas de aprendizaje automático. <i>Santos, M.S., Mediero, L.J., y Lima, C.H.R.J.</i>	145
Caracterización de nuevos materiales en sistemas de riego por goteo subsuperficial. <i>Sobrino, F., Zubeizu, S., y Rodríguez, L.</i>	147
Relación de eventos de lluvia con indicadores ambientales: indicador A25. Caso de estudio Manizales Caldas – Colombia. <i>Suárez, J., Romo, L., y Vélez, J.</i>	149
Análisis avanzado de redes de abastecimiento, saneamiento y drenaje urbano con Giswater 2. <i>Torret, X., y Medina, V.</i>	151
Estudio de la dinámica del transporte de salmueras en tuberías a presión. <i>Triadú, A., y Sánchez-Juny, M.</i>	153
Sistema de Ayuda a la Decisión para el diseño de planes de gestión de presiones y la estimación de fugas en redes de distribución de agua urbana. <i>Vicente, D.J., Sánchez, R., Garrote, L., y Salazar, F.</i>	155
Línea temática C	157
Modelización hidráulica 2D para la determinación de cargas de lluvia en cubiertas singulares. <i>Ait-Chaib, J.I., Quilez, A., y Moure, J.M.</i>	159
Problemática de los ríos urbanos. Análisis del caso particular del río Monelos- Mesoiro y del río de La Grela o río Pastoriza. <i>Alcoba, M., y Calvo, E.</i>	161
Sistema para medición de manómetros analógicos mediante visión artificial. <i>Alvarellós, A, Picón, D., Puertas, J., y Rabuñal, J.</i>	163
Estudio piloto para la evaluación de la aplicabilidad en Galicia de sistemas de deshidratación de fangos a través de humedales subsuperficiales de flujo vertical. <i>Barrio, J.P., Costoya, T., Poncet, J., y Verde, R.</i>	165
Optimización de la eliminación de P en una EDAR mediante el empleo de un software de modelización del funcionamiento de la planta (BioWin). <i>Barrio, J.P., Casas, O., Poncet, J., Muiño, P., y Verde, R.</i>	167
Actualización de tarifas de agua con base en la capacidad de pago de los usuarios. <i>Casados-Prior, J.A., Rodríguez-Varela, J.M., y Antúñez-Leyva, E.</i>	169
Transición colaborativa hacia el drenaje sostenible: una experiencia a escala de barrio. <i>Castillo-Rodríguez, J.T., Andrés-Doménech, I., Perales-Momparler, S., y Escuder-Bueno, I.</i>	171
Enfoque integral para la monitorización en tiempo real de redes de abastecimiento de agua mediante técnicas de estimación de estado. <i>Díaz, S., González, J., y Mínguez, R.</i>	173
La nueva EDAR de Lagares (Vigo). Aspectos novedosos incorporados al diseño de la instalación. <i>Fernández, C.</i>	175
Simulación numérica de flujo superficial acoplado con redes de drenaje. <i>Fernández-Pato, J., y García-Navarro, P.</i>	177
Análisis de sensibilidad en los procesos de vaciado de los sistemas de distribución de agua. <i>Fuertes-Miquel, V.S., Coronado-Hernández, O.E., Iglesias-Rey, P.L., y Mora-Meliá, D.</i>	178
Análisis de sensibilidad en la generación de sulfuros en redes de saneamiento. Caso de la ciudad de Murcia.	

<i>García, J.T., Ruiz-Martínez, D., Viguera-Rodríguez, A., Castillo, L.G., Carrillo, J.M., Martínez Solano, P.D., y Nevado Santos, S.</i>	180
Dos Casos Prácticos Para La Aplicación De Mejoras En Una Gestión Del Saneamiento Urbano. <i>López, F.J., López, M., y Puente, A.</i>	182
La resiliencia de Barcelona frente al cambio climático: el Proyecto RESCCUE. <i>Malgrat, P., Martínez-Gomariz, E., Russo, B., Vela, S., Velasco, M., Gabàs, A., y Marin, D.</i>	184
Guía sobre la reducción de la vulnerabilidad de edificios frente a las inundaciones. <i>Martínez, F.J., Nájera, A., Espejo, F., Cordero, S., González, S., y Martínez, E.</i>	186
Modelación eficiente de suministros de agua con aljibes domiciliarios mediante EPANET. De su necesidad a su erradicación. <i>Martínez Alzamora, F., Kesteloot, D., Vegas Niño, O.T., y Jiménez-Bello, M.A.</i>	188
Análisis de la eficiencia de un equipo de impulsión en una red de abastecimiento urbano. <i>Martínez García, M.P., Martínez Romero, A., y Corcoles Tendero, J.I.</i>	190
Metodología para la evaluación de daños a vehículos expuestos a inundaciones en zonas urbanas. <i>Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B., Sánchez, P., y Montes, J.</i>	192
Algoritmo multiobjetivo para la rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el uso de una librería de funciones basadas en SWMM5. <i>Martínez-Solano, F.J., Iglesias-Rey, P.L., y Saldarriaga, J.G.</i>	194
Metodología experimental para el estudio del lavado y transporte de sedimentos en una cuenca urbana de laboratorio a escala real. <i>Naves, J., Anta, J., Puertas, J., Suárez, J., y Regueiro-Picallo, M.</i>	196
Montaje y calibración de un simulador de lluvia para estudios de drenaje urbano. <i>Naves, J., Puertas, J., Anta, J., Suárez, J., y Regueiro-Picallo, M.</i>	198
Transporte de sedimentos cohesivos en conducciones de saneamiento unitario. <i>Regueiro-Picallo, M., Anta, J., Suárez, J., Puertas, J., Naves, J., y Jácome, A.</i>	200
Aplicación de la técnica Structure From Motion (SFM) para la determinación de la acumulación de sedimentos en redes de saneamiento. <i>Regueiro-Picallo, M., Naves, J., Anta, J., Suárez, J., Puertas, J., y Jácome, A.</i>	202
Análisis de la validez de la cartografía satelital para su uso en la estimación de zonas inundables. <i>Ruiz, O., Sánchez, J.M., y Álvarez, C.</i>	204
Planta piloto para el análisis del rendimiento de la depuración de aguas residuales mediante macrofitas. <i>Ruiz, O., Acero, A., Lorén, J., Russo, B., y Lapuente, M.</i>	206
Plan Director del río Huerva. <i>Ruiz, L.J., y Gairín, R.</i>	208
Integración de nowcasting radar y modelización 1D/2D en un sistema de alerta temprana para inundaciones en medio urbano. <i>Russo, B., X., Llorç, X., Sánchez, P., y Rodríguez, A.</i>	210
Sectorización de redes de distribución de agua según criterios de eficiencia energética. <i>Salguero, F.J., Cobacho, R., y Pardo, M.A.</i>	212
Comparación de métodos de análisis de imágenes para determinar campo de velocidades aplicado a las rejillas del alcantarillado. <i>Tellez-Alvarez, J., Gómez, M., Russo, B., y Zanon, F.</i>	214
OVALPIPE II. Mejora de la eficiencia de redes de saneamiento mediante sistemas de tubos ovoides. <i>Vázquez-Sánchez, J.A., Piñeiro, J.M., Rosa-Ariza, D., Lorenzo-Magaz, S., Anta, J., Suárez, J., Puertas, J., Castro-López, M.M., Noguerol-Cal, R., y Vázquez, R.</i>	216
IoT aplicado a los sistemas de agua urbana. <i>Vázquez, R., Orejón, J.M., y Pardo, J.J.</i>	218
Modelación matemática del tratamiento del efluente de un Biorreactor Anaerobio de Membranas (AnMBR). <i>Yeste, P., y Barat, R.</i>	220
Línea temática D	223
Estudio de remodelación del cuenco amortiguador de la presa de Buendía. <i>Alonso Tejedor, M.E., y Moreno Calle, E.</i>	225
Influencia del MDE de distribución gratuita SRTM-1s en el análisis de rotura de la presa de Chipembe, Mozambique: Aplicación del modelo Iber. <i>Álvarez, M., Peña, E., y Bermúdez, M.</i>	227
Avances en el estudio de la rotura de presas de escollera con núcleo central de material cohesivo. <i>Alves,</i>	

<i>R.M., Ricoy, L.F., Morán, R., y Toledo, M.Á.</i>	229
Modelación numérica del comportamiento de una válvula de esfera mediante CFD con validación experimental. <i>Andrés-Reig, D., Pérez-Sánchez, M., Ramos, H., y López-Jiménez, P.A.</i>	231
Caracterización de ventosas de admisión y expulsión de aire. <i>Arrué, P., Romero, A.M., Espert, V., García-Serra, J., y Ponz, R.</i>	233
Caracterización del agua bruta en las EDAR de Galicia. <i>Barrio, J.P., Costoya, T., Poncet, J., y Verde, R.</i>	235
Modelado CFD del flujo aire-agua en un desagüe de fondo de presa. <i>Bayón, A., Macián-Pérez, J.F., Río, F., Conesa, F.J., y García-Lorenzana, D.</i>	237
Desarrollo de una herramienta para simular obstrucciones en flujos con <i>Iber</i> . <i>Bladé, E., Sanz-Ramos, M., Niñerola, D., y Dolz, J.</i>	239
Avances en la tecnología de aliviaderos de bloques en forma de cuña (WSB). <i>Caballero, F.J., San Mauro, J., Toledo, M.A., Morán, R., Salazar, F., Monteiro, R., Ruano, L., y Monterde, M.</i>	241
Metodología para la evaluación del riesgo y la priorización de inversiones en el mantenimiento de obras de drenaje transversal. <i>Campos, J., González, J., Díaz, S., y Galán, A.</i>	243
Resaltos hidráulicos al pie de aliviaderos de vertido libre. <i>Carrillo, J.M., Castillo, L.G., García, J.T., y Marco, F.</i>	245
Gestión de la calidad y del alcance en proyectos y obras hidráulicas. <i>Díaz Martínez, R.</i>	247
Caracterización del comportamiento de válvulas reductoras de presión proporcionales. <i>García Todolí, S., Iglesias Rey, P.L., y Martínez Solano, F.J.</i>	248
Caracterización de microturbina hidrocínética mediante modelo numérico de dinámica de fluidos computacional. <i>García, L., Fernández, A., Rodríguez N., Álvarez, E., Meana, A., Fernández, J.</i>	250
Diseño de sistemas de Captación de Fondo. <i>García, J.T., Castillo, L.G., Haro, P.L., y Carrillo, J.M.</i>	252
Clasificación energética de instalaciones con bombas sumergidas. <i>Giner González, C., Gómez Pajares, P., Soriano Olivares, J., García-Serra García, J., y Casany Pérez, M.</i>	254
Procedimiento para la selección óptima de equipos de bombeo. Caso de estudio. <i>Gómez Pajares, P., Giner González, C., Soriano Olivares, J., y García-Serra García, J.</i>	256
Caracterización de flujos emulsionados en estructuras hidráulicas mediante tecnología fotónica. <i>Llorente, R., Vallés-Morán, F.J., Morant, M., Bayón, A., Carrasco-Ortiz, S.L., Valero, E., López, S., y Martín, A.B.</i>	258
Caracterización experimental de resaltos hidráulicos estacionarios con alto número de Reynolds. <i>Macián-Pérez, J.F., Bayón, A., Vallés-Morán, F.J., García-Bartual, R., y López-Jiménez, P.A.</i>	260
Diseño de diques en la cuenca inferior del río Luna. <i>Martínez-Cantó, R., e Hidalgo, A.</i>	262
Selección de perfil hidrodinámico para la construcción de un modelo a escala de una microturbina hidrocínética. <i>Meana-Fernández, A., Fernández Oro, J.M., Argüelles Díaz, K.M., Galdo-Vega, M., García, L., Fernández, A., Rodríguez N., y Álvarez, E.</i>	264
Hidrodinámica de turbinas de corriente de eje vertical. <i>Ouro, P., Stoesser, T., y Cea, L.</i>	266
Comportamiento de los factores de fricción de Manning y Darcy-Weisbach en diferentes condiciones de flujo e implicaciones en el diseño de canales de riego. <i>Prado Hernández, J.V., de León Mojarro, B., Carrillo García, M., y Valentín Paz, O.G.</i>	268
Mejora en la eficiencia del flujo en piscinas destinadas a la cría de peces mediante simulación numérica bidimensional. <i>Quintana López, M., y Fraga Cadórniga, I.</i>	270
Influencia de la aireación del flujo en rápidas en la evolución del Número de Manning. <i>Rebollo, J.J., López, D., Herrero, R., Garrote, L., Balairón, L., Díaz, R., y Ramos, T.</i>	272
Análisis dinámico del flujo en reducciones cónicas en la aspiración de grupos de bombeo. <i>Rodríguez-Orta, A., Pulido-Calvo, I., y Chamber-Pérez, E.</i>	274
Modelo de llenado de grandes conducciones. <i>Romero, A.M., Arrué, P., Garcia-Serra, J., Espert, V., y Biel, F.</i>	276
Aliviaderos con cajeros altamente convergentes. ¿Posible solución para la presa de Oroville? <i>San Mauro, J., Salazar, F., Morán, R., Peraita, J., Toledo, M.Á., Conde, M.J., Flórez, V., y Labalde, B.</i>	278
Determinación experimental de la viscosidad de una salmuera. <i>Triadú, A., Sanz, J., y Sánchez-Juny, M.</i>	280

Tema monográfico	283
Acciones para contribuir en mejorar los servicios de 4 organismos operadores, ribereños del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. México. <i>Antúnez-Leyva, E., Casados-Prior, J.A., Gómez-Lugo, L., y Hansen-Rodríguez, M.P.</i>	285
Herramientas para la cuantificación del impacto hidrológico y ecológico de la producción hidroeléctrica. <i>Bejarano, M.D., García-Palacios, J.H., Sordo-Ward, A., Alonso, C., y Nilsson, C.</i>	287
Modelo de simulación hidráulica de drenaje dual en un área urbana para predicción de inundaciones en tiempo real. <i>Bermúdez, M., Ntegeka, V., Wolfs, V., y Willems, P.</i>	289
Predicción de inundaciones fluviales en un núcleo costero mediante un modelo de regresión de Máquinas de Vectores Soporte de Mínimos Cuadrados (LS-SVM). <i>Bermúdez, M., Cea, L., y Puertas, J.</i>	291
Reconstrucción paleohidráulica de caudal, escorrentía y precipitación durante inundaciones torrenciales en una pequeña subcuenca del río Guadalquivir. <i>Del Moral-Erencia, J.D., y Bohorquez, P.</i>	293
Metodología para la mejora de la calidad de las aguas de las rías Baixas: Concello de Rianxo. <i>Del Río, H., Calvo, E., y Vázquez, R.</i>	295
Características de las Descargas de Sistemas Unitarios (DSUs) en la ciudad de Murcia. <i>García, J.T., Espín, P., Viguera-Rodríguez, A., Castillo, L.G., Carrillo, J.M., Martínez Solano, P.D., y Nevado Santos, S.</i>	297
Retirada parcial del relleno de Huarte. <i>Gastesi R., González J., Pérez C., Tanco I., y Amorena A.</i>	299
Drenaje urbano y planeamiento: el Plan Director como herramienta para el desarrollo urbano sensible al agua en la Comunidad de Madrid. <i>González Laynez, P., y García Marcos, O.</i>	301
Estimación del caudal ecológico de la cuenca binacional del río Bravo/Grande mediante el contraste de modelos hidrológicos. <i>Guerra-Cobián, V.H., Ferriño-Fierro, A.L., Cavazos-González, R.A., y Palomo-Mendoza, J.C.</i>	302
Influencia del régimen pluviométrico en el lavado inicial de pavimentos permeables. <i>Hernández-Crespo, C., Martín Monerri, M., Andrés-Valeri, V.C., y Andrés-Doménech, I.</i>	304
Metodología de caracterización del funcionamiento y eficacia de los tanques anti-DSU del sistema de saneamiento del Manzanares (Madrid). <i>Lastra, A., Pinilla, A., Malgrat, P., Falcó X., Sunyer, D., Abella, J., Suárez, J., Puertas, J., Anta, J., Regueiro-Picallo, M., Recarey, M., y Fernández, I.</i>	306
Proyecto de Restauración fluvial mediante infraestructura verde en el río Ucero (Soria). Plan PIMA Adapta. <i>López Argüeso, R., Martínez Revilla, V., Asenjo Maderuelo, J., y Anguiano Pérez, P.</i>	308
Gestión y usos del agua en la planificación hidrológica en las cuencas internacionales de los ríos Miño y Limia. <i>Marín Muñoz, F.</i>	310
Estudio numérico-experimental de la estabilidad de vehículos ante inundaciones. <i>Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., y Russo, B.</i>	311
Estudio da consecución dun obxectivo planificado de saneamento na actuación realizada no “Saco de Fefiñáns” en Cambados (Pontevedra). <i>Núñez, P.</i>	313
Nuevas implementaciones en Iber para el cálculo de inundaciones en núcleos costeros con tramos de río entubados. <i>Pereira, C., Cea, L., y Sopelana, J.</i>	315
La rehabilitación fluvial en el ámbito urbano. Estudio de caso: el río Sar (Galicia, NO Península Ibérica). <i>Piñeiro, R., Horacio, J., y Álvarez-Campana, J.M.</i>	317
Actuación de los “Interceptores generales de la margen derecha de la ría de Ferrol”. <i>Piñeiro, J.</i>	318
Análisis de actuaciones en las cuencas del Sur del Mar Menor con el objetivo de reducir el aporte de sedimentos y compuestos nitrogenados a la laguna. <i>Puertes, C., Bautista, I., Lidón, A., y Francés, F.</i>	320
Diseño de estructuras de regulación en la red de saneamiento de la cuenca Oeste de Gijón. <i>Quintana López, M., Menéndez Rodríguez, P., y Gago Pérez, V.</i>	322
Simulación de la contaminación bacteriológica en la Ría de Pontevedra mediante modelos hidrodinámicos acoplados. <i>Quintana López, M., Beiroa Raposo, X., Fraga Cadórniga, I., Quevedo Pérez, A., y Álvarez de Gabriel, J.M.</i>	324

Sistema de detección y medición de peces en nubes de puntos para escalas de peces de hendidura vertical. <i>Rico-Díaz, A.J., Pallas A., Rabuñal J.R., y Puertas, J.</i>	326
Monitorización cuantitativa y cualitativa de alivios en redes de alcantarillado a través de un sistema de ultra-bajo consume. <i>Russo, B., Ortega, A., Sánchez, J.C., López, A., Ortega, J., Guash, R., y Montes, J.</i>	328
El camino del agua en el paisaje urbano, barrio de Bon Pastor, Barcelona. <i>Soto-Fernández, R., y Perales-Momparler, S.</i>	330
Técnicos municipales y SuDS ¿En contra o a favor? <i>Valls Donderis, P., Valls Benavides, G., y Millán Romero, P.</i>	332
Selección y aplicación de indicadores de sostenibilidad hídrica en la comarca de O Salnés (Pontevedra). <i>Velo, M., Martínez, J., y Mosqueira, G.</i>	334
Control de la explotación de colectores en relación con los impactos sobre las masas de agua. <i>Villa Miguel, A.</i>	335

PRESENTACIÓN

Las V Jornadas de Ingeniería del Agua (JIA 2017), promovidas por la Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua (FFIA) y el capítulo español de la IAHR, han sido organizadas por el Grupo de Enxeñaría da Auga e do Medio Ambiente (GEAMA) de la Universidade da Coruña. Los temas abordados en las JIA 2017 son:

- A. Dinámica Fluvial, de embalses estuarios y humedales.
- B. Hidrología, usos y gestión del agua.
- C. Agua y ciudad.
- D. Estructuras hidráulicas.
- M. (Monográfico). Entornos fluviales y aguas de transición: impactos de los medios urbanos.

El tema monográfico escogido pretende poner de manifiesto la importancia del impacto de los desarrollos urbanos sobre ríos y costas. Estos impactos pueden visibilizarse en cambios en la morfología fluvial, lo que puede dar lugar, por ejemplo, a problemas de capacidad en los cauces, y también en vertidos de aguas residuales en tiempo de lluvia que alteran fuertemente la calidad de los ecosistemas fluviales y costeros. Evitar estos impactos es una línea de trabajo actual y muy relevante.

En total se han recibido 217 resúmenes, que tras el proceso de revisión técnica e inscripción se han traducido en 98 presentaciones orales y 60 pósteres aceptados. El primer día de las jornadas se dedica a los temas A, B, C y D, con cuatro sesiones paralelas: 3 sesiones del tema A, 5 del tema B y 4 de los temas C y D. Los pósteres se presentan en un formato de “micropresentación”, y se han agrupado en 5 sesiones paralelas. El segundo día se dedica íntegramente al tema monográfico, tanto en lo que se refiere a las charlas plenarias como en las ponencias y la mesa redonda que cerrará las jornadas.

El esquema de las jornadas, en dos días y con un tema monográfico, se va repitiendo de modo ininterrumpido desde la primera edición, en el año 2009, y la continuidad de una línea de trabajo basada en el rigor técnico y una organización sobria ha llevado a la creación de una “marca”, la de las JIA, que ya es una referencia y que cuenta con un conjunto de asistentes fiel y que garantiza la continuidad a futuro. Con todo, siempre hay pequeñas novedades o propuestas diferenciadas. En esta edición, por ejemplo, se apuesta por las micropresentaciones de los pósteres, que en ediciones anteriores, en un formato más tradicional, no tuvieron quizá el protagonismo adecuado. También el día previo a la inauguración se han promovido varios cursos y actividades orientadas esencialmente a potenciar la participación de la gente joven.

El Comité Organizador ha trabajado desde el inicio para lograr el éxito de estas jornadas, siempre en estrecha colaboración y siguiendo las directrices del Comité Permanente, garante de la continuidad de las JIA. La calidad técnica de las ponencias viene avalada por el trabajo del Comité Científico, que ha realizado la revisión de los resúmenes y las propuestas para la conformación de las sesiones.

Desde el Comité organizador deseáramos por último agradecer todos los apoyos recibidos para la organización y el desarrollo de las jornadas. En primer lugar, por supuesto, a los participantes y ponentes, que se desplazan a este Finisterre no siempre bien comunicado. También a los oradores invitados y a los miembros de la mesa redonda todos de un altísimo nivel técnico; a las entidades colaboradoras y patrocinadoras, sin cuyo apoyo habría sido imposible celebrar estas jornadas, y, por último, a las dos entidades promotoras, FFIA y CE-IAHR, que han confiado en el grupo GEAMA y en la Universidade da Coruña para acoger este evento.

Jerónimo Puertas Agudo

En nombre del Comité Organizador de las V Jornadas de Ingeniería del Agua, 2017

ORGANIZACIÓN

Comité Permanente de JIA

Co-presidentes

José Dolz Ripollés. Universitat Politècnica de Catalunya

Luis Balairón Pérez. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

Vocales

Cristóbal Mateos Iguacel. Capítulo Español de la International Association for Hydro-Environment Engineering and Research

Ramón Gutiérrez Serret. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research

José Roldán Cañas. Universidad de Córdoba

Jerónimo Puertas Agudo. Universidade da Coruña

David Hernáez Oubiña. Augas de Galicia

Ricardo Vázquez Pérez. EMALCSA

Javier González Pérez. Universidad de Castilla-La Mancha

Comité Organizador de JIA 2017

Presidente

Jerónimo Puertas Agudo. Universidade da Coruña

Secretario

Jose Anta Álvarez. Universidade da Coruña

Vocales

Ramón Gómez Gesteira. Universidade de Vigo

Joaquín Suárez López. Universidade da Coruña

Enrique Peña González. Universidade da Coruña

Juan Rabuñal Dopico. Universidade da Coruña

María Bermúdez Pita. Universidade da Coruña

M. Fátima Moreno Pérez. Universidad de Córdoba

Ricardo Juncosa Rivera. Universidade da Coruña

Luis Pena Mosquera. Universidade da Coruña

Acacia Naves García-Rendueles. Universidade da Coruña

Joaquín J. López Sánchez. Confederación Hidrográfica Miño-Sil

Ricardo Babío Arcay. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Galicia

Pedro Calaza Martínez. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Galicia

Comité Científico de JIA 2017

Presidente

José Roldán Cañas. Universidad de Córdoba

Secretario

Luis Cea Gómez. Universidade da Coruña

Vocales

David López Gómez. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

Eduardo Álvarez Álvarez. Universidad de Oviedo

Elena Martínez Bravo. INCLAM

Ernest Bladé I Castellet. Universitat Politècnica de Catalunya

Félix Francés García. Universitat Politècnica de Valencia

Ignacio Andrés Domenech. Universitat Politècnica de Valencia

Inmaculada Pulido Calvo. Universidad de Huelva

Javier González Pérez. Universidad de Castilla-La Mancha

Javier López Rodríguez. Universidad Pública de Navarra

Juan Reca Cardeña. Universidad de Almería

Leonor Rodríguez Sinobas. Universidad Politécnica de Madrid

Luis G. Castillo Elsitdié. Universidad Politécnica de Cartagena

Luis Garrote de Marcos. Universidad Politécnica de Madrid

Manuel Gómez Valentín. Universitat Politècnica de Catalunya

Óscar Castro Orgaz. Universidad de Córdoba

Rafael Morales Baquero. Universidad de Granada

ENTIDADES

Organiza



Promueven



Colaboran



Ponencias plenarias

Estrategia de Gestión Global del Agua

Antonio Álvarez Sánchez

Director de Sostenibilidad Ambiental de Inditex. E-mail:antonioas@inditex.com

Línea temática | Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

El agua constituye uno de los recursos más valiosos para garantizar la sostenibilidad del planeta y de quienes lo habitamos. En Inditex somos conscientes de su importancia crítica para la vida y para casi todas las actividades humanas, así como de su escasez en condiciones adecuadas para cubrir las necesidades de muchas personas y ecosistemas en el mundo. Por ello, consideramos que nuestro compromiso con el desarrollo sostenible y la protección del medioambiente y de los recursos naturales, debe contemplar el uso sostenible del agua en todas las dimensiones y vinculaciones que pueda tener con nuestras actividades, tanto directas como indirectas, desde la obtención de nuestras materias primas hasta el fin de vida de nuestros productos comerciales y no comerciales.

Across the Scales of a River Basin

Franca, M.J.^a

^a River Basin Development Chair Group, IHE Delft Institute for Water Education, Westvest 7, 2601 DA Delft, The Netherlands. E-mail: m.franca@un-ihe.org

Línea temática | Dinámica fluvial y de estuarios y deltas

RESUMEN

A river basin envelops hydraulic processes at a wide range of interdependent temporal (from seconds to years or even centuries) and spatial scales (from grain and reach to basin and landscape, Figure 1). These varying scales often have different control mechanisms, hindering a common theoretical framework (Franca and Brocchini 2015). Commonly, system or process based approaches are used by engineers and scientists. Large-scale system-based models integrate small/medium scale processes in a lumped fashion, whereas process-based analysis is required when the basic conservation equations are explicitly needed. Hydraulic engineers, whose field of activity includes the natural and built patrimony of a river basin, typically work at medium flow scales (e.g. river width, pipe diameter). At these, small processes need to be upscaled, whereas large phenomena impose the boundary conditions for the analysis.



Figura 1 | From grain and reach to basin and landscape, Bombarral (Portugal).

This seminar is structured around the notion of scales in a river basin, including turbulence scales, hydraulic (medium flow) scales and river basin scales. Examples of research at the three different scale ranges are presented: large-scale coherent structures which impose a cyclic variation on bed shear stress; techniques for upscaling turbulent flows, with heterogeneous boundaries, to hydraulic scales; and analysis, at the river basin scale, of a database of daily measurements of suspended sediment concentration and streamflow for identification of the main control processes. The results are discussed in terms of scale interaction and in terms of process- and system-based investigation.

REFERENCIAS

Franca, M.J., Brocchini, M. 2015. Turbulence in Rivers, *in Rivers Physical, Fluvial and Environmental Processes*. Springer: GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, 51-78, doi: 10.1007/978-3-319-17719-9_2

Diagnóstico de los sistemas de saneamiento en el marco de la Comunidad Autónoma de Galicia. Presente y Futuro

David Hernáez Oubiña^a

^a EPE Aguas de Galicia, Jefe Departamento de Obras. E-mail: david.hernaez.oubina@xunta.gal

Línea temática | M. Entornos fluviales y aguas de transición: impactos de los medios urbanos.

RESUMEN

Se pretende con esta ponencia dar una visión objetiva del estado de los sistemas de saneamiento en la comunidad Gallega haciendo un recorrido desde el marco legislativo que nos afecta, la organización competencial de los sistemas de saneamiento y los organismos o administraciones participantes, su diseño y efectividad, su gestión y la política aplicada para la recuperación del coste.

Una forma de diagnosticar la situación y, por lo tanto, tener una idea de por dónde empezar, es contestar a estas simples preguntas:

1. ¿Se conoce la legislación por parte de los actores del ciclo del agua? ¿Es esta coherente entre sí?
2. ¿Existe un marco competencial claramente definido que concrete quien aplica QUÉ y CUANDO?
3. ¿Existen criterios técnicos homogéneos acordes a la legislación vigente?
4. ¿Con las infraestructuras existentes y la capacidad técnica y de gestión de los actores implicados, se está cumpliendo la legislación?
5. ¿Existe un modelo homogéneo de estimación del coste del ciclo del agua que permita establecer un coste de un sistema acorde a la legislación?
6. ¿La estructura y cuantía de las tasas/ordenanzas fiscales obedece realmente a una estrategia de recuperación de coste de un servicio acorde a la legislación y **de reinversión en infraestructuras**?
7. ¿Tienen claro los diferentes actores del ciclo del agua las distintas opciones de gestión de los sistemas, sus ventajas e inconvenientes?

Como resumen, se exponen a continuación las conclusiones que se pueden obtener de los trabajos y experiencia del EPE Aguas de Galicia y que, de alguna manera, permiten responder a las preguntas anteriores:

Población y su distribución en Galicia

1. La organización territorial de una Comunidad Autónoma incide de forma muy directa en los costes de los diferentes servicios urbanos que la Comunidad, Diputaciones o Ayuntamientos deben gestionar para sus ciudadanos. El poblamiento de Galicia se caracteriza por la dispersión de los asentamientos en el interior, en las zonas rurales, y por una cada vez mayor densidad de población en las zonas costeras; esta dicotomía, tiende, además, a acentuarse.
2. La población, en términos generales está disminuyendo tanto a nivel global como en todas las provincias. Cada vez hay menos población sobre la que repercutir los costes de mantenimiento y explotación y los costes de las infraestructuras van en aumento para poder cumplir con la legislación y la protección de las masas de agua.
3. El 36% de la población vive en ayuntamientos superiores a 50.000 hab que se concentran en 7 ciudades: A Coruña, Santiago, Ferrol (A Coruña), Vigo y Pontevedra (Pontevedra), Ourense y Lugo. El 75% de la población se concentra en las provincias de A Coruña y Pontevedra. Pensando en la sostenibilidad de los servicios urbanos tanto desde un punto de vista técnico como económico, existen dos escenarios completamente diferentes según se hable de las provincias costeras o las de interior.

Recuperación de costes. Déficit tarifario.

1. El volumen de agua depurada es 3,4 veces el volumen de agua facturada, teniendo en cuenta que el alcantarillado, canon del agua y coeficiente de vertido se cobra por los m³ facturado de agua potable, se observa que en realidad hay un

déficit, ya que estamos gestionando tres veces más agua en el sistema de saneamiento que en la red de abastecimiento.

2. La estructura de recuperación de costes en el saneamiento es la siguiente: De 158 ayuntamientos analizados, normalmente con explotadores que no son los titulares, 41 disponen de ordenanzas separadas de saneamiento y depuración de los cuales 27 imponen unos consumos mínimos mensuales en materia de depuración y 24 en materia de saneamiento. (10-15 m³/mes por abonado). 117 ayuntamientos de los analizados tienen tasas conjuntas de saneamiento y depuración de los que 37 tienen mínimos de consumo (10-15 m³/mes por abonado).
3. El modo de aplicar las tasas de saneamiento no sigue ningún tipo de homogeneidad a lo largo del territorio gallego. Cuando existen tasas separadas de saneamiento y depuración, predomina la tasa vinculada al €/m³ ya sea con o sin tramos de consumo y hay mayoritariamente mínimos de consumo entre 10 y 20 m³/mes por abonado.
4. Las tasas que se aplican no obedecen a un análisis de costes de un sistema eficaz y acorde con la legislación sino a una política de recuperación del coste del “servicio” independientemente de cómo sea su prestación.

Ausencia de control de la explotación. Incumplimientos normativos.

1. Infiltración masiva en las redes de saneamiento tanto de agua del freático como de flujos de agua superficial (ríos, arroyos) por malas prácticas en la ejecución o envejecimiento y degradación de los materiales.
2. Incumplimiento continuo de la legislación en materia de saneamiento (RD 1290/2012, Orden MAM AAA/2056/2014 y RD 141/2012).

Déficit técnico. Falta de mantenimiento.

1. Saneamientos unitarios sin ningún tipo de gestión de las aguas pluviales, lo que provoca reboses en EDAR, ya que el caudal que llega es superior al de tratamiento, y reboses de los diferentes aliviaderos de la red de alcantarillado, sin ningún tipo de control en términos de caudal, volúmenes vertidos o contaminación.
2. Falta de integración de los elementos que componen un sistema de saneamiento (alcantarillado, bombeos, EDAR, etc.). No se analizan de qué dependen los flujos que reciben o cómo condiciona los flujos agua abajo. Es decir, difícilmente se analiza un sistema de forma integral.
3. Falta de conocimiento de las características físicas de las redes de saneamiento y desconocimiento de los equipos instalados.
4. Saneamientos litorales con frecuentes entradas de agua de mar en los propios colectores, o través de aliviaderos, no solamente en mareas vivas o situaciones excepcionales.

Rendimiento de la red de saneamiento

1. Escasa implantación de las redes separativas. En donde las había se han convertido en unitarias en poco tiempo. Apenas se desarrollan actividades conducentes a eliminar los vertidos de agua residuales a ellas.
2. Nunca ha existido preocupación por la contaminación asociada a las redes de pluviales como consecuencia de los arrastres de materiales en las superficies urbanas (sí que ha habido un cierto intento de control, pero sin un criterio claro, en zonas industriales). Este aspecto es especialmente relevante en aglomeraciones urbanas litorales importantes con zonas de producción marisquera próximas.
3. Los valores límites de vertido que se establecen en las ordenanzas, en la mayoría de los casos, no queda claro si se refiere a valores máximos instantáneos o medios y rara vez se vinculan estas concentraciones máximas unos Kg máximos a EDAR de un determinado contaminante. De nada nos sirve limitar una concentración, si el volumen de agua que se gestiona en la red es tan grande que, con esa concentración, se superan los Kg máximos a procesar en el diseño de la EDAR.

AGRADECIMIENTOS

EPE Aguas de Galicia.

Minimizando el impacto de los vertidos en tiempo de lluvia. El caso de Madrid

Antonio Lastra de la Rubia^a

^a Coordinador de innovación en red. Subdirección de I+d+i. Canal de Isabel II. E-mail: alastra@canaldeisabelsegunda.es

Línea temática | M. Entornos fluviales y aguas de transición: impactos de los medios urbanos

RESUMEN

El agua de lluvia procedente de la escorrentía en un entorno urbano transporta una notable contaminación que obliga a los gestores a replantearse los antiguos paradigmas sobre dilución o efectos de primer lavado. Con esta idea, el Canal de Isabel II está desarrollando un proyecto de investigación para, mediante la caracterización de la contaminación en diferentes escenarios pluviométricos, analizar los perfiles contaminantes de las aguas de lluvia recogidas para desarrollar protocolos de gestión de los tanques de tormenta orientados, no sólo a reducir el volumen de agua vertido al cauce durante estos eventos sino, sobre todo, a minimizar el impacto de los vertidos de este agua de lluvia contaminada al cauce receptor.

Gestión integrada de los recursos hídricos en el sistema de agua urbana. Desarrollo Urbano Sensible al Agua como enfoque estratégico

Suárez, J.

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA), E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}joaquin.suarez@udc.es.

Tema monográfico | Entornos fluviales y aguas de transición: impactos de los medios urbanos

RESUMEN

El medio urbano no es ajeno a la gestión integrada del recurso hídrico, que incluye, necesariamente, los conceptos de unidad de cuenca y de gobernanza. El tradicional esquema de “ciclo del agua urbana”, que incorpora de un modo muy lineal los servicios de abastecimiento y saneamiento, debe ser sustituido por una visión más integral y sistémica, donde el agua se vincula con el planeamiento, el desarrollo urbano y con las políticas de sostenibilidad. Se puede hablar de “sistema de agua urbana”. Esta globalidad de acción no es algo de lo que podamos sustraernos, ya que la legislación cada vez más orienta a las administraciones a considerar aspectos sistémicos y ambientales a la hora de gestionar, por ejemplo, los sistemas de saneamiento y drenaje. La plasmación práctica de todo este conglomerado de interacciones ya toma forma en algunos países, en los que se comienza a hablar de “Low Impact Development” (LID), “Green Infrastructures” o “Water Sensitivity Urban Design” (WSUD). Se propone integrar este nuevo enfoque estratégico bajo la denominación: Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA). Con el impulso del enfoque DUSA, los actuales sistemas de agua urbana (concebidos originalmente bajo el concepto tradicional de ciclo de agua urbana) pueden transformarse, conceptual y físicamente, para una gestión integrada del sistema del agua urbana en los nuevos modelos de desarrollo urbanos sostenible. En la exposición se presentará la aplicación del nuevo enfoque DUSA a la gestión de la contaminación asociada a las aguas pluviales en el sistema de agua urbana, incluyendo los avances en normativa e incorporación de técnicas en España.

Línea temática A

Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y humedales

Tecnologías de medición y transmisión de datos en sistemas de riego por gravedad

Bentancor, L^{a1}; Ruiz, A^b; Castaño, V^c y Durán, P^{a2}.

^aUnidad Disciplinaria de Ingeniería Agrícola, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Avda. E. Garzón 780, 12900 Montevideo Uruguay. E-mail: ^{a1}lbentancor@fagro.edu.uy, ^{a2}pjduran@acequia-innova.es.

^bTécnico de la represa India Muerta, Dr Fonseca 1093. Lascano, Uruguay. E-mail: comisaco@adinet.com.uy

^cTécnico AgroTi., Sudestada M 327, Lomas de Solymar, Canelones, Uruguay. E-mail: vcastano@gmail.com

Línea temática | A Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y deltas

RESUMEN

Introducción

La medición del caudal en los sistemas de riego por gravedad, está relegada por la falta de dispositivos adecuados en las redes de distribución y al alto costo de los sistemas de medición. Con el objetivo de lograr una tecnología de medición y transmisión de datos que mejore la gestión eficiente del uso del agua, se lleva adelante el proyecto FPTA-292 “Desarrollo y evaluación de equipos para medición de agua de riego y transmisión de datos en sistemas de arroz y pasturas”. Se desarrollaron equipos que combinan estructuras hidráulicas de aforo con elementos electrónicos dotados de sensores y elementos de transmisión de datos, y una plataforma Web para el acceso a la información.

Materiales y métodos

Las temporadas de riego evaluadas son 2014-15, 2015-16 y 2016-17. Se instalaron 28 puntos de medición, dotados de: vertederos triangular, rectangular y Cipolletti, tubos venturi, placas de orificio, Aforadores Cresta Ancha (ACA) y Sin Cuello, tubos y compuertas calibradas (Bos et al., 1986, Skogerboe et al., 1973, y Temeepattanapongsa, 2012) y equipamientos de lectura (con sensores piezo-resistivos, distanciómetros electro-acústicos y caudalímetros electromagnéticos) y transmisión de datos y envío de SMS de alerta (modems gsm/gprs). Los equipos fueron controlados mediante aforos con molinete y reglas de lectura directa. Se controló la recolección y transmisión de datos y la accesibilidad remota mediante una plataforma web y software de acceso a la base de datos alojada en la misma. Se valoraron y calcularon las cuotas de amortización y mantenimiento de los equipos.

Resultados de la investigación

Se obtuvieron datos de consumo de agua de parcelas de arroz (tabla 1) y se calculó el costo total, amortización y mantenimiento anual de algunos equipos instalados en chacras y en canales que se tiene la certeza del área que riegan.

Se ha estimado el costo total de amortización y mantenimiento anual de algunos equipos instalados en parcelas y en canales donde se tiene la certeza del área que riegan, los valores obtenidos se encuentran en el rango de 0,26 U\$S ha⁻¹año⁻¹ a 94,72 U\$S ha⁻¹año⁻¹, con un valor medio de 13,05 U\$S ha⁻¹año⁻¹. Se destaca que han sido especialmente bajas, las cuotas de amortización de equipos que combinan estructuras de aforo de lámina libre (vertederos, aforadores ACA y Sin Cuello), con un valor promedio de 1,23 U\$S ha⁻¹año⁻¹. Asimismo, la medición sobre estructuras fijas (tubos de pase de agua/puentes) calibradas e instrumentadas con sensores piezo-resistivos o electroacústicos, obtuvieron las cuotas de amortización promedio más bajas (0,40 U\$S ha⁻¹año⁻¹) ya que no se consideran los costos de construcción de la estructura sino únicamente la instrumentación telemática. Los equipos que incluyeron tubos venturis instrumentados han resultado en cuotas de amortización promedio más

elevadas: 38,13 U\$S ha⁻¹año⁻¹. Los caudalímetros electromagnéticos tuvieron en promedio cuotas de amortización más altas: 26,54 U\$S ha⁻¹año⁻¹.

Tabla 1 | Consumo de agua

Situación	Equipo	Consumo m ³ ha ⁻¹
Canal parcela 268ha	Electromagnético	10.684
Parcela 128ha	Placa de orificio 600-540	11.158
Calibra modelo	Presión diferencial S	11.543
Parcela 50ha	Venturi eQpipe	16177

Conclusiones

Los aforadores de lámina libre utilizados (ACA, Sin Cuello, y vertederos) en conjunción con medidores de carga (piezo-resistivos y electroacústicos) resultaron adecuados para la medición en canales.

Los órganos deprimógenos: venturis y placas de orificio, con sensores de presión diferencial, son adecuados para rangos de caudales acotados, tales como bombeos y derivaciones, aunque requieren mayor carga disponible.

La transmisión de datos ha requerido ajustes del software, lográndose la seguridad en la obtención de los datos.

La programación de interfase de usuario y la plataforma Web han funcionado adecuadamente.

Es posible utilizar estructuras existentes en los sistemas de riego calibradas para el cálculo del caudal instantáneo y volumen acumulado, instrumentándolas con equipos electrónicos de medición y transmisión de datos.

Los equipamientos evaluados en el presente proyecto, han resultado adecuados para controlar los caudales y medir los consumos reales de las chacras.

Las cuotas de amortización, resultan altamente dependientes del área regada en cada parcela y se han obtenido valores en la mayoría de los casos muy adecuados en relación al costo del servicio de riego.

AGRADECIMIENTOS

Al I.N.I.A. por el financiamiento del proyecto presentado y la utilización de su infraestructura.

A las empresas COMISACO, SAMAN, GLENCORE, CASARONE, COOPAR TOBIR y SOFORUCE por la utilización de su infraestructura de riego y la colaboración de sus técnicos en la realización de medidas.

Se agradece a la empresa ACEQUIA INNOVA (España) por la donación de equipos de aforo y telemetría y la colaboración en la instalación y mantenimiento de los mismos.

REFERENCIAS

Bos, M.G., J. A. Replogle & A. J. Clemmens. 1986. "Aforadores de caudal para canales abiertos". Publication 38, International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, Wageningen, The Netherlands.

Skogerboe, G. V., R. S. Bennett & W. R. Walker. 1973. *Selection and Installation of Cutthroat Flumes for Measuring Irrigation and Drainage Water*. Colorado State University, Experiment Station, Fort Collins, *Technical Bulletin 120*. 75p

Dinámica del concentrado de cobre en lechos de gravas

N. Bustamante^a, C. Tapia^b y Y. Niño^c

^aEstudiante de Doctorado en Fluidodinámica, Universidad de Chile, Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile, PH (56) 945114011; email: nataliabustamante@ug.uchile.cl, ^bEstudiante Ingeniería Civil, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile, PH (56) 974144002; email: camilotapia@ug.uchile.cl y ^cProfesor titular, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Civil, Advanced Mining Technology Center, Universidad de Chile, Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile, PH (562) 29784400; email: ynino@ing.uchile.cl

Línea temática | A Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y deltas

RESUMEN

Los derrames de productos mineros en corrientes de agua debido a accidentes, como rompimiento de tranques de relave y concentraductos, son altamente contaminantes. En Chile estos derrames ocurren principalmente en ríos de gravas, afectando la calidad del agua y los sistemas bióticos, tanto superficiales como subsuperficiales. Esta problemática ambiental no sólo se ha presentado en Chile, sino también en Perú sobre el río Colca (Rpp, 2016), en España sobre el río Agrio en 1998 (Martínez, 2003), entre otros países, lo cual motivó el estudio experimental de la dinámica del concentrado de cobre y relaves en ríos de gravas. Los objetivos de este estudio experimental son, por una parte, identificar la dinámica del concentrado de cobre en lechos granulares, y por otra, cuantificar las cargas del transporte de fondo y en suspensión del concentrado de cobre, en función del caudal, la tasa de suministro de concentrado de cobre, la profundidad y la granulometría de las gravas.

La instalación experimental consiste en un canal de 3.0 m de longitud, 0.11 m de ancho, pendiente variable y caudales entre 0.00068 m³/s a 0.0044 m³/s. La instalación experimental es pequeña, para evitar la descarga del concentrado de cobre al sistema de alcantarillado. La instrumentación del montaje experimental consta de un tubo Venturi para medir caudales, dos cámaras: una Nikon D3200 y una Canon 1100, para el análisis de transporte del concentrado de cobre, tanto en el punto de vertimiento como aguas abajo de éste, y una cámara Fastcam Mini UX50 para el análisis PIV/PTV de las velocidades del flujo. Se configuró un lecho de dos capas, con arena y gravas (ver Figura 1). La capa superficial es de grava cuyo diámetro medio es de 10 mm y la capa subsuperficial es de material más fino, cuyo diámetro medio varía entre 0.2 y 3.35 mm en distintas experiencias y densidad de 2.65 gr/cm³ para ambos materiales. El concentrado de cobre tiene un diámetro característico (D_{50}) de 40 μ m y una densidad de 4.2 gr/cm³.



Figura 1 | Zona de vertimiento.

El concentrado se vierte con concentraciones en peso sólido entre el 60% y 70%, para evitar su encapsulamiento. El vertimiento del concentrado se realiza de forma puntual, a caudal constante por siete segundos, aproximadamente, mediante una tolva cónica. Esta configuración se realiza con el fin de simular el rompimiento de un concentraducto.

Al inicio del vertimiento, domina el transporte en suspensión y al saturarse la columna de agua con concentrado de cobre se genera percolación entre las gravas y posteriormente entre las arenas. La Figura 2 muestra la dinámica inicial del concentrado de cobre entre las gravas; las flechas naranjas indican la dirección de la percolación del concentrado de cobre entre el material

granular, la línea verde delimita la interfaz grava-columna de agua y la línea roja delimita la interfaz arena-grava, respectivamente.

La línea azul en la Figura 2-derecha muestra el perfil de percolación a lo largo de un tramo del canal, superpuesto con el perfil de percolación hallado mediante el procesamiento de imágenes.

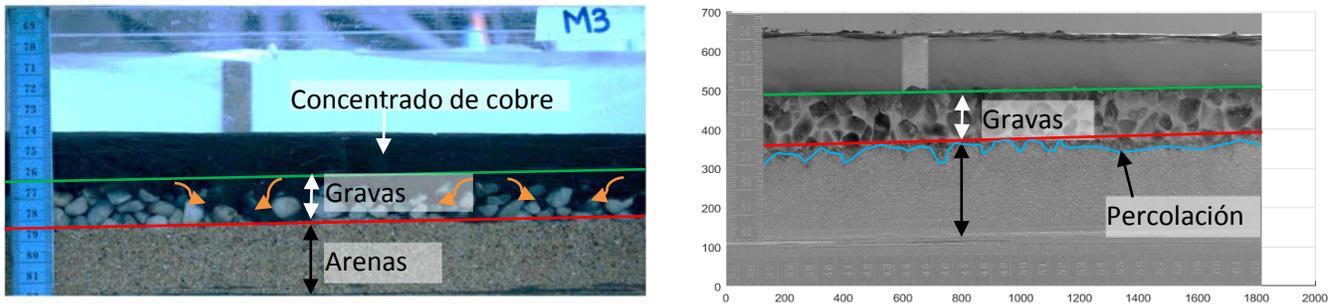


Figura 2 | Inicio percolación del concentrado de cobre entre gravas (izquierda). Percolación del concentrado de cobre entre arenas. La imagen procesada es la imagen final menos la imagen inicial (derecha)

El depósito de concentrado de cobre se ha generado de dos formas: la primera, cuando hay contacto directo entre el material granular y el concentrado de cobre y la segunda, cuando el tamaño de los poros del material granular es menor al tamaño de las partículas de concentrado de cobre, es decir, puede generarse una capa puente, similar a la propuesta por Baschta & Jackson (1979), Iseya & Ikeda (1987) y Diplas & Parker (1992) en Gibson et al. (2009), la cual impide que se genere una percolación sin obstáculos.

Investigadores como Gibson et al. (2009, 2010) han investigado el transporte de contaminantes en la columna vertical y presentan una relación de percolación de arenas en gravas, la cual es de 2 a 5 veces el D_{90} de la grava, aproximadamente. En esta investigación se espera poder determinar si la relación es válida para el concentrado de cobre en arenas y gravas.

Al variar el tamaño de las arenas en los experimentos, se ha podido observar que a menor relación entre los diámetros medios de la arena y del concentrado de cobre, menor es la profundidad de percolación y mayor es el transporte en suspensión. Cabe resaltar que esta investigación aún está en curso y en próximos experimentos se evaluará el comportamiento del concentrado de cobre en granulometrías de gravas extendidas, se presentarán los campos de velocidad en el canal y, además, se estimarán velocidades de percolación mediante el procesamiento de imágenes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen al departamento de ingeniería civil de la Universidad de Chile y al Proyecto Fondecyt 1140767.

REFERENCIAS

- Gibson, S., Abraham, D., Heath, R., & Schoellhamer, D. 2009. Vertical gradational variability of fines deposited in a gravel framework. *Sedimentology*, 56(3), 661–676.
- Gibson, S., Abraham, D., Heath, R., & Schoellhamer, D. 2010. Bridging Process Threshold for Sediment Infiltrating into a Coarse Substrate. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 136(2), 402–406. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000219](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000219).
- Martínez, Z. 2003. Guías prácticas para situaciones específicas: manejo de riesgos y preparación para respuestas a emergencias mineras. CEPAL, Recursos Naturales e Infraestructura, (57), 37-40.
- Rpp (30 de marzo de 2016) Derrame de relaves mineros contaminan afluentes del río Colca. www.rpp.pe

Esquemas numéricos en volúmenes finitos para flujos transitorios no-hidrostáticos: aplicación a la onda de rotura de presas

Cantero-Chinchilla, Francisco N.^a y Castro-Orgaz, Oscar^b

^aInvestigador Postdoctoral, Área de Ingeniería Hidráulica, Departamento de Agronomía, Cta Nacional IV, Km 396, Edificio Da Vinci, Campus de Ranabales, 14071, Universidad de Córdoba y ^bProfesor, Área de Ingeniería Hidráulica, Departamento de Agronomía, Cta Nacional IV, Km 396, Edificio Da Vinci, Campus de Ranabales, 14071, Universidad de Córdoba.

Línea temática | A Dinámica fluvial y de estuarios y deltas.

RESUMEN

La modelización de flujos transitorios en lámina libre se realiza en estudios hidrológicos e hidráulicos usando las ecuaciones promediadas verticalmente de masa y cantidad de movimiento las cuales se simplifican suponiendo que las presiones son hidrostáticas, dando lugar a las conocidas ecuaciones de Saint-Venant (Chaudhry, 2008). Sin embargo, muchos flujos de interés práctico, como las ondas de rotura de presa o la evolución de las formas de un lecho erosionado requieren, a menudo, recurrir a sistemas de orden superior, tales como las ecuaciones tipo Boussinesq (Castro-Orgaz et al., 2015). Un ejemplo de este tipo de ecuaciones que ha alcanzado un alto nivel de aceptación son las ecuaciones de Serre-Green-Naghdi para ondas débilmente dispersivas y totalmente no-lineales.

La ausencia de soluciones analíticas generales para las ecuaciones de Serre-Green-Naghdi motiva la necesidad de recurrir a soluciones numéricas. En cuanto a esquemas numéricos, en la literatura se pueden encontrar una gran variedad, basados en diferencias finitas (Mohapatra y Chaudhry, 2004), elementos finitos (Erduran et al., 2005) o volúmenes finitos (Soares-Frazao y Zech, 2002). Entre ellos, los esquemas numéricos en volúmenes finitos, con reconstrucción de variables de alta resolución, son claramente la opción más usada en décadas recientes, gracias a los esquemas tipo Godunov, que permiten reproducir ondas de contacto y discontinuidades en el flujo con precisión y robustez (Toro, 2001). Sin embargo, un componente de gran importancia en la calidad de la solución final de estos esquemas numéricos, cuando son aplicados a flujos no-hidrostáticos, es el algoritmo usado para integrar las ecuaciones temporalmente. Dependiendo del nivel de precisión y del orden de discretización, la precisión final de la solución e incluso la estabilidad del modelo se pueden ver comprometidas.

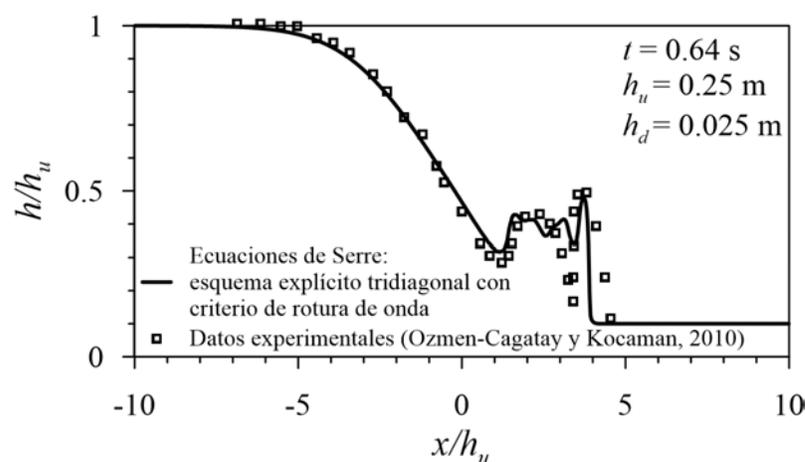


Figura 1 | Simulación de rotura de presa usando las ecuaciones de Serre-Green-Naghdi y esquema explícito tridiagonal con criterio de rotura. Nota: la simulación sin criterio de rotura no aparece debido a que el esquema colapsa.

Una comparativa reciente entre esquemas numéricos explícitos para la resolución de sistemas de ecuaciones tipo Boussinesq se puede encontrar en Cantero-Chinchilla et al. (2016a). Sus conclusiones indican que los esquemas numéricos de orden superior, que mantienen el balance entre precisión en la reconstrucción dentro los volúmenes y la aplicación del paso

temporal, proporcionan soluciones adecuadas. Entre ellos, la aplicación de esquemas explícitos para la parte hiperbólica del modelo, conjugados con la solución de matrices tridiagonales para resolver el sistema de ecuaciones elípticas que da el campo de velocidades, es una alternativa frecuentemente utilizada (Soares-Frazao y Zech, 2002; Cantero-Chinchilla et al., 2016a). Sin embargo, al usar estos esquemas, existen situaciones reales las cuales dan lugar a un colapso del esquema numérico si no se introducen funciones de amortiguación externas para atenuar el efecto de los términos dispersivos (Hosoda y Tada, 1994; Cantero-Chinchilla et al., 2016a), tal y como ocurre en flujos de rotura de presa (Figura 1). El empleo de esquemas numéricos implícitos o semi-implícitos permite solucionar este problema sin necesidad de recurrir a funciones semi-empíricas (Cantero-Chinchilla et al., 2016b) aumentando, no obstante, la complejidad de la solución.

En este trabajo se presenta una comparativa entre esquemas numéricos explícitos basados en el uso de soluciones basadas en matrices tridiagonales, y esquemas implícitos, para determinar el campo cinemático no-hidroestático. Las ecuaciones de Serre-Green-Naghdi (Serre, 1953) son empleadas para ilustrar la simulación del flujo de rotura unidimensional de presa. Los casos de rotura de presa en lecho seco y húmedo son utilizados para analizar el comportamiento de ambos esquemas.

REFERENCIAS

- Cantero-Chinchilla, F.N., Castro-Orgaz, O., Dey, S., Ayuso, J.L. 2016a. Nonhydrostatic dam break flows. I: Physical equations and numerical schemes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(12), 04016068.
- Cantero-Chinchilla, F.N., Castro-Orgaz, O., Dey, S., Ayuso-Muñoz, J.L. 2016b. Nonhydrostatic dam break flows. II: One-dimensional depth-averaged modeling for movable bed flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(12), 04016069.
- Castro-Orgaz, O., Hutter, K., Giraldez, J.V., Hager, W.H. 2015. Nonhydrostatic granular flow over 3 gravity waves?. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 120(1), 1-28.
- Chaudhry, M.H. 2008. *Open-channel flow*, Springer, Berlin.
- Erduran, K.S., Kutija, V., Macalister, C.R. 2005. Finite volume solution to integrated shallow surface-saturated groundwater flow. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 49(7), 763-783.
- Hosoda, T., Tada, A. 1994. Free surface profile analysis on open channel flow by means of 1-D basic equations with effect of vertical acceleration. *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, 38, 457-462 (in Japanese).
- Mohapatra, P.K., Chaudhry, M.H. 2004. Numerical solution of Boussinesq equations to simulate dam-break flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(2), 156-159.
- Serre, F. 1953. Contribution à l'étude des écoulements permanents et variables dans les canaux (Contribution to the study of steady and unsteady channel flows). *La Houille Blanche*, 8(3), 374-388 (in French).
- Soares-Frazao, S., Zech, Y. 2002. Undular bores and secondary waves-Experiments and hybrid finite-volume modelling. *Journal of Hydraulic Research*, 40(1), 33-43.

Técnicas térmicas puntuales y distribuidas para la estimación de los flujos de interacción río-acuífero.

Jaime Gaona^{a,b,c}, Jörg Lewandowski^{a,d} y Alberto Bellin^c

^aLeibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, IGB-Berlin, Müggelseedam 310, 12587, Berlin, Germany (gaona@igb-berlin.de), ^bFreie Universität Berlin, Dahlem Research School, Hittorfstraße 16, 14195, Berlin, Germany, ^cUniversity of Trento, Department of civil, Environmental and Mechanical Engineering, Via Messiano 77, 38123, Trento, Italy, ^dHumboldt University Berlin, Geography Department, Rudower Chaussee 16, 12489 Berlin, Germany

Línea temática | A Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y deltas.

RESUMEN

Las interacciones río acuífero son un componente esencial del ciclo hidrológico, así como de todos los fenómenos químicos y biológicos asociados a estos intercambios, para lo que resulta necesario la combinación de diversas técnicas. La cuantificación de estos flujos de interacción entre las aguas superficiales y subterráneas resulta especialmente importante, no sólo para la estimación de los balances hídricos, sino también para la identificación de las áreas de interacción donde los procesos químicos y biológicos asociados al flujo hiporreico (HEF) resultan de tanta trascendencia en el estado de calidad ambiental de las aguas continentales y de transición. Este estudio tiene como finalidad la mejora en la caracterización y cuantificación de los flujos de interacción río-acuífero mediante el uso de técnicas térmicas puntuales y distribuidas, dado las ventajas que presenta la temperatura como trazador de carácter natural, con el fin de comprobar sus capacidades y limitaciones bajo condiciones ambientales naturales.

En una primera fase, se evalúan las técnicas de carácter puntual mediante la aplicación una serie de métodos analíticos y numéricos con el fin de estimar los flujos verticales de interacción en el sedimento. Los métodos analíticos que se incluyen en el software VFLUX aplicado (Gordon et al., 2012) se basan en el análisis de la atenuación de la amplitud o las variaciones de fase de la señal térmica ambiental (como el ejemplo de la figura 1, Hatch et al. 2006) o la combinación de ambas variables (siendo la variante más evolucionada Luce et al., 2013) en profundidad del sedimento. Dichas estimaciones de flujos se comparan con los resultados de la modelación numérica basada en diferencias finitas realizadas con el modelo 1DTempPro, (Koch et al., 2015)) desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Los resultados obtenidos permiten concluir que existen importantes limitaciones a la estimación de flujos con los métodos existentes debido a las complejas condiciones naturales, y especialmente de las derivadas de la heterogeneidad de las propiedades hidráulicas y térmicas del sedimento. De esta sección del estudio se evidencia también la necesidad de involucrar a otras técnicas de naturaleza espacial para solventar la dificultad de las técnicas puntuales para abordar el estudio a mayores escalas.

En una segunda fase, se incorpora al estudio las técnicas térmicas distribuidas, en concreto la técnica basada en fibra óptica (FO-DTS) que aprovecha las propiedades de refracción de Raman en la fibra. Debido a su flexibilidad espacial y precisión (Selker et al. 2006). La fibra óptica es capaz de identificar patrones de temperatura en la interface agua-sedimento que pueden abarcar múltiples escalas desde el cm al km. La aplicación de esta técnica provee información espacial relevante para la comprensión de la influencia de cada factor en los procesos hiporreicos. El reconocimiento de los patrones termales diferenciados del resto de temperaturas de la interface río-sedimento permiten identificar las áreas de interconexión río acuífero. Los resultados desvelan las limitaciones de la técnica de fibra óptica para estimar flujos por sí sola, mientras que las capacidades complementarias entre las técnicas térmicas puntuales y distribuidas abre oportunidades para alcanzar el objetivo de estimación espacial de flujos. En base a ello, la parte final del estudio explora diversos métodos para la extensión del cálculo de los flujos de intercambio de puntual a espacial mediante la modelación de los vínculos entre los patrones térmicos y las propiedades y formas del sedimento. Las conclusiones obtenidas reflejan los retos que enfrenta la subida de escala de las estimaciones de las interacciones río-acuífero y las oportunidades que se presentan para futuros desarrollos en la materia.

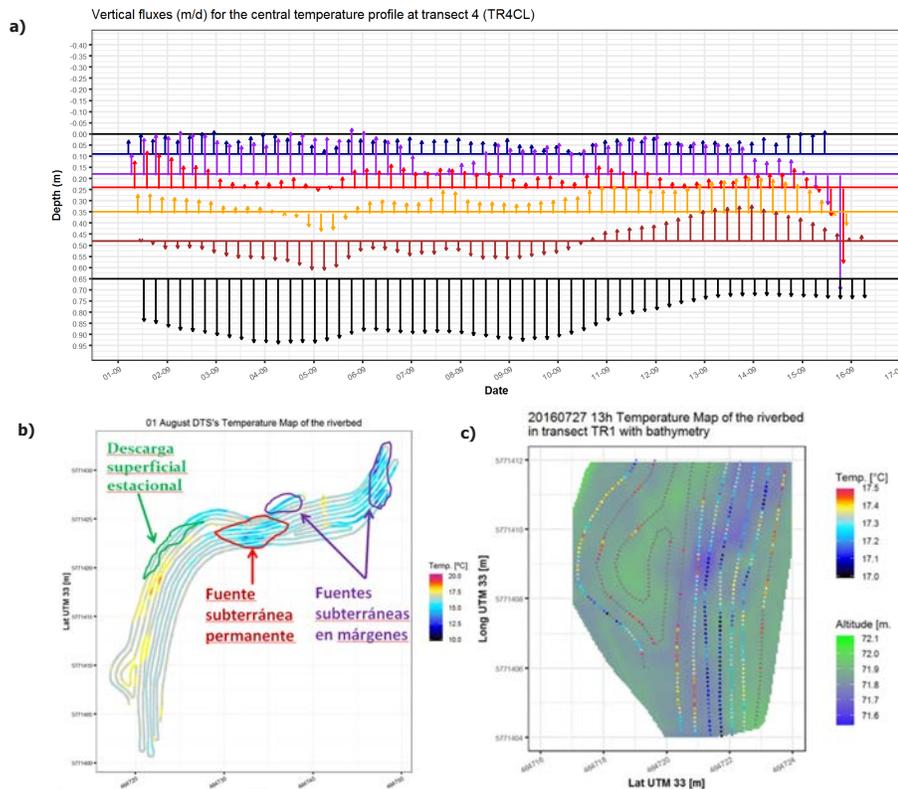


Figura 1 | Ilustraciones de diversos puntos del estudio de flujos de interacción río-acuífero mediante técnicas térmicas puntuales y distribuidas: a) estimación puntual de flujos verticales de interacción río-acuífero sobre el perfil de temperatura TR4CL mediante método analítico, b) identificación de las áreas de interacción río-acuífero a lo largo del tramo de estudio y c) exploración del vínculo térmico entre flujo hiporreico y formas del sedimento.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación de doctorado está financiada por el programa Erasmus Mundus SMART Joint Doctoral Programme (Science for Management of Rivers and their Tidal systems) de la Unión Europea. Agradecemos a Anne Mehrrens, Wiebke Seher, Christine Sturm por su ayuda en campo, a las autoridades del parque natural del valle del Río Schlaube por permitir el acceso al Río, además de a Alessandra Marzadri por su guía en el proceso de análisis y modelado de los procesos hiporreicos

REFERENCIAS

- Gordon, R. P., L. K. Lutz, M. A. Briggs, and J. M. McKenzie (2012), Automated calculation of vertical pore-water flux from field temperature time series using the VFLUX method and computer program, *Journal of Hydrology*, 420, 142-158.
- Hatch, C. E., A. T. Fisher, J. S. Revenaugh, J. Constantz, and C. Ruehl (2006), Quantifying surface water-groundwater interactions using time series analysis of streambed thermal records: Method development, *Water Resources Research*, 42(10).
- Koch, F.W., Voytek, E.B., Day-Lewis, F.D., Healy, R., Briggs, M.A., Werkema, D., and Lane, J.W., Jr., (2015), 1DTempPro: A program for analysis of vertical one-dimensional (1D) temperature profiles v2.0: USGS Software Release, 23 July 2015.
- Luce, C. H., D. Tonina, F. Gariglio, and R. Applebee (2013), Solutions for the diurnally forced advection-diffusion equation to estimate fluid velocity and diffusivity in streambeds from temperature time series, *Water Resources Research*, 49(1), 488-506.
- Selker, J. S., Thevenaz, L., Huwald, H., Mallet, A., Luxemburg, W., Van De Giesen, N., Parlange, M. B. (2006). Distributed fiber-optic temperature sensing for hydrologic systems. *Water Resources Research*, 42(12).

Análisis de los modos potenciales de fallo de las presas: Valdesia, Monción, Contraembalse de Monción, Tavera, Bao, López Angostura, Hatillo, Sabaneta, Sabana Yegua y Villarpando. (República Dominicana)

Mariano Jiménez^{a1}, Luis Altarejos^{b1} y Miguel Alonso^{a2}

^a Departamento de Dirección de Obra y Proyectos de INCLAM, c/ Limonero 22, 28020, Madrid. ^b Universidad Politécnica de Cartagena E-mail: ^{a1} mariano.jimenez@inclam.com, ^{a2} miguel.alonso@inclam.com ^{b1} luis.altarejos@upct.es

Línea temática | A Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y humedales

RESUMEN

Introducción

República Dominicana, además de una isla paradisíaca de playas vírgenes, se trata de un lugar con una alta probabilidad de fenómenos naturales como huracanes o terremotos que pueden afectar de forma muy significativa a las presas del país, colocando a su población en una posición de gran vulnerabilidad. En el año 2007, los huracanes Olga y Noel azotaron el país, y según el PNUD afectaron de manera directa o indirecta al 70% de la población del país, provocaron inundaciones y deslizamientos en el 80% del territorio, dejando 79,000 desplazados. Ante las necesidades generadas, el Banco Mundial creó un fondo para apoyar la recuperación del desastre, y es dentro de este programa en el que se enmarca nuestro trabajo, en conjunto con el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI).

Objetivo

El objetivo último del proyecto ha sido conocer el estado actual y la problemática de las presas, recomendar actuaciones de mejora, reevaluar los estudios de avenidas, desarrollar medidas de futuro para la gestión de embalses y a la vez fortalecer al equipo humano que en la actualidad trabaja en este ámbito. En este proyecto y este ámbito de actuación se engloba el Análisis Potencial de Fallo (PFMA en inglés) realizado sobre 10 presas: Valdesia, Monción, Contraembalse de Monción, Tavera, Bao, López Angostura, Hatillo, Sabaneta, Sabana Yegua y Villarpando.

Datos

La documentación base del análisis fue facilitada por el INDRHI. Esta información se complementó con visitas a las infraestructuras y reuniones con el personal encargado de la explotación y gestión.

Metodología

El análisis de los modos de fallo potenciales (PFMA según las siglas en inglés) es una herramienta de gestión de la seguridad de presas cuyo propósito es ampliar el abanico de las evaluaciones de seguridad de presas para incluir modos de fallo potenciales que pudieran no haber sido tenidos en cuenta en investigaciones anteriores. Se trata de un ejercicio para identificar todos los modos de fallo potenciales que pudieran tener lugar, tanto en condiciones de operación normales como en situación de crecidas y sismo. Además, se identifican aquellos modos de fallo que por su especial significancia requieren una atención continua, mediante las correspondientes labores de inspección, vigilancia, monitorización y, en su caso, reparación.

El taller de PFMA comprende: recogida de toda la información disponible, visita a la presa, sesión de identificación de modos de fallo potenciales, identificación de vínculos con las actividades de inspección y vigilancia, propuesta de medidas de reducción de riesgo y documentación de los trabajos realizados. Para abarcar la complejidad del estudio de los PFMA, no basta

con las comprobaciones tradicionales, es necesario investigar en profundidad la presa con la ayuda de un grupo de personas con información y conocimientos sobre la operación y comportamiento experimentado por la presa en el pasado, y sobre la base de toda la información disponible sobre la misma. En cada taller realizado participaron personal del Departamento de Presas de INDRHI (Instituto Nacional de Recursos Hídricos) y los responsables de la explotación de las presas de EGEHID (Empresa de Generación Hidroeléctrica Dominicana).

Los modos de fallo potenciales identificados se clasifican por grados del I al IV. El objetivo de esta clasificación por grados es proporcionar una idea de la importancia relativa de los diferentes modos de fallo identificados, que sirva para orientar en la definición de las actuaciones de vigilancia y monitorización, y para mejorar las actividades de inspección de la presa.

La definición de cada grado se recoge a continuación.

Tabla 1 | Grados empleados para la clasificación de los modos potenciales de fallo

Grado	Definición
Grado I	Aquellos modos de fallo de mayor importancia considerando las necesidades de atención, potencial de ocurrencia, magnitud de las consecuencias y probabilidad de una respuesta inadecuada (el modo de fallo se considera factible, se ha identificado una debilidad importante y las condiciones necesarias para que se produzca el fallo parecen razonables y creíbles).
Grado II	Modos de fallo considerados igualmente factibles, aunque con menores posibilidades de ocurrir o con consecuencias asociadas reducidas.
Grado III	Modos de fallo para los que la información disponible resulta insuficiente para una adecuada clasificación y en los que por lo tanto está recomendada campaña de investigación.
Grado IV	Modos de fallo descartados cuya aparición no se considera razonable.

Resultados

El análisis de modos potenciales de fallo permite: mejorar los procesos de inspección, poniendo del foco en los aspectos críticos de cada presa considerada individualmente, identificar modos de fallo vinculados con la operación de la presa; identificar modos de fallo no contemplados en las comprobaciones tradicionales; mejorar y reforzar las actividades de vigilancia y monitoreo; identificar carencias en los datos, informaciones y análisis necesarios para evaluar la seguridad de la presa; identificar las medidas de reducción de riesgo más eficaces y documentar los resultados de cara a futuras inspecciones de seguridad de la presa.

Conclusiones

Como conclusión a los trabajos realizados se obtuvieron los modos de fallo potenciales de las 10 presas, se clasificaron por grados, se identificaron los vínculos con las labores de inspección y vigilancia y se propusieron medidas de mitigación de riesgo. Las medidas propuestas pudieron priorizarse gracias a los grados en que se dividieron y clasificarse en medidas a corto, medio y largo plazo.

Hidro-morfología en canales de aguas someras con cavidades laterales y transporte de sedimentos suspensión

Juez, C.^{a1}, Buehlmann, I.^{a2}, Maechler, G.^{a3}, Schleiss, A. J.^{a4} y Franca, M. J.^{a5}

^a Laboratory of Hydraulic Constructions (LCH), École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). E-mail: ^{a1}carmelo.juez@epfl.ch, ^{a4}anton.schleiss@epfl.ch, ^{a5}mario.franca@epfl.ch.

Línea temática | A. Dinámica fluvial y de estuarios y deltas

RESUMEN

Introducción

El curso natural de los ríos y su geometría ha sido tradicionalmente modificado de manera artificial por parte del hombre con diferentes fines (agricultura, seguridad frente a inundaciones, producción de energía). Estas modificaciones afectan la continuidad de sedimentos a lo largo de los ríos, alterando considerablemente el balance de sedimentos. A su vez, estas alteraciones dan lugar a déficits o excesos de sedimentos que provocan respuestas morfológicas no deseadas como: erosión del lecho del río, o deposición de sedimentos y colmatación del lecho fluvial. Desde un punto de vista ecológico, la disrupción del balance sedimentario ocasiona también desordenes en la fauna y flora acuática como: abundante crecimiento de algas, excesiva turbidez para los peces, o lecho armado que dificulta el desove de los peces.

Por otra parte, la canalización de los ríos da lugar a una geometría rectiforme y monótona. Una manera de revitalizar y restaurar los ríos consiste en la excavación de cavidades en los márgenes del río. Estas cavidades generan zonas con diferentes velocidades que favorecen el desarrollo la vida acuática. Las áreas con bajas velocidades constituyen zonas de descanso, mientras que aquellas zonas con altas velocidades fomentan el intercambio de nutrientes y oxígeno con el canal principal. Estas cavidades laterales pueden ser también responsables del cambio de la morfología del río, ya que pueden atrapar los sedimentos finos transportados por el flujo.

Con objeto de analizar la influencia de las cavidades laterales en el balance sedimentario del río y en su morfología, se han realizado una campaña de experimentos en un canal abierto alimentado con sedimentos finos en un laboratorio. Estos experimentos cubren diferentes configuraciones de cavidades laterales rectangulares. Este estudio pretende responder a las siguientes cuestiones: (i) ¿Cuál es el impacto de las cavidades laterales sobre hidrodinámica?, (ii) ¿Qué tipo de cavidad lateral se llenará rápidamente con sedimentos finos, y en consecuencia se ha de evitar en los proyectos de restauración?, y (iii) ¿Qué tipo de cavidad lateral se llenará parcialmente de sedimentos favoreciendo la aparición de zonas con altas y bajas velocidades y potencial para diversos hábitats.

Configuración experimental y resultados

Los experimentos fueron desarrollados en un canal de laboratorio trabajando en circuito cerrado: el agua con sedimentos era recogida en el tanque aguas abajo y bombeada de nuevo al tanque de aguas arriba para ser vertida de nuevo al canal. Las cavidades laterales rectangulares en las paredes del canal fueran construidas con ladrillos de cemento (Meile et al., 2011). Diferentes dimensiones características, relacionadas con los elementos prismáticos y con la anchura del canal, han sido seleccionadas como parámetros clave a la hora de diseñar las diferentes configuraciones geométricas ensayadas en el laboratorio (Figura 1). Tres calados diferentes fueron testados en cada configuración. El sedimento utilizado para los ensayos consistía en un material plástico y artificial (para evitar problemas de crecimiento de algas y en consecuencia problemas de cohesión entre partículas) con $d_{50} = 0.2$ mm.

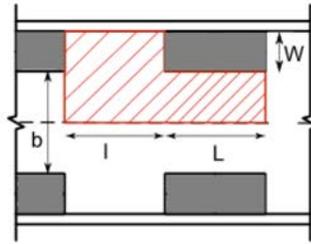


Figura 1 | Dimensiones características utilizadas para diseñar las diferentes configuraciones de cavidades laterales ensayadas en el laboratorio.

Las técnicas experimentales utilizadas durante el desarrollo de los ensayos de laboratorio consistieron en: la aplicación de PIV superficial, la medición de la evolución temporal de la concentración de sedimento en suspensión mediante turbidímetros, y el pesado del sedimento retenido al final de los experimentos. Asimismo, se tomaron fotografías del interior de las cavidades para identificar las áreas de sedimentación. La Figura 2 muestra una selección de los resultados obtenidos. Las zonas primarias de deposición y eficiencia en la captura de sedimentos han sido relacionadas con las dimensiones características de las cavidades laterales.

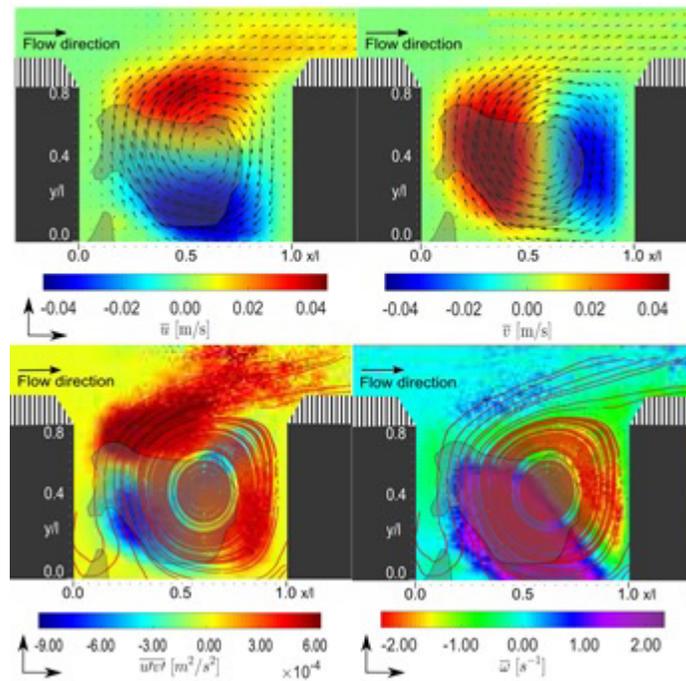


Figura 2 | a) Vista en planta de la velocidad longitudinal dentro de la cavidad. b) Vista en planta de la velocidad transversal dentro de la cavidad. c) Vista en planta de los esfuerzos de Reynolds dentro de la cavidad. d) Vista en planta de la vorticidad dentro de la cavidad. Las líneas rojas corresponden a las líneas de corriente. Las zonas sombreadas representan las zonas de deposición de sedimentos.

REFERENCIAS

- Meile, T., Boillat, J.-L., Schleiss, A.J. 2011. Flow resistance caused by large-scale bank roughness in a channel. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(12):1588-1597, doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000469.
- Juez, C., Buehlmann, I., Maechler, G., Schleiss, A.J., Franca, M. J. 2017. Transport of suspended sediments under the influence of bank macro-roughness. *Earth Surface Processes and Landforms*. Submitted.

Calibración general del método SPH para estudios en cauces. Condición de contorno de fricción y ley de semejanza.

David López Gómez^a, Tamara Ramos del Rosario^b, Juan José Rebollo Cillán^c y Rubén Díaz Martínez^d, Francisco R. Andrés Martín^e

^a Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Paseo Bajo de Virgen del Puerto nº3. 28005. Madrid. david.lopez@cedex.es, Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Paseo Bajo de Virgen del Puerto nº3. 28005. Madrid, tamara.ramos@cedex.es, ^c Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Paseo Bajo de Virgen del Puerto nº3. 28005. Madrid, juan.j.rebollo@cedex.es, ^d Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Paseo Bajo de Virgen del Puerto nº3. 28005. Madrid, ruben.diaz@cedex.es, ^e Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Paseo Bajo de Virgen del Puerto nº3. 28005. Madrid, francisco.r.andres@cedex.es

Línea temática | A. Dinámica fluvial y de estuarios y deltas.

RESUMEN

El método SPH ha sido utilizado con éxito en el estudio hidrodinámico de estructuras hidráulicas. Los modelos lagrangianos de partículas son adecuados para el estudio de fenómenos hidráulicos de interacción de flujo con estructura con gran deformación de la superficie. CEDEX ha realizado múltiples estudios combinando experimentación numérica SPH con modelización física y numérica lo que ha permitido calibrar el método en este campo (López, 2010). El flujo en cauces o canales abiertos viene condicionado por la fricción en el contorno. Las condiciones de contorno empleadas para el método SPH no resuelven correctamente la fricción con los contornos. López (2012) propuso una mejora de las condiciones de contorno de Lennard-Jones incluyendo una tensión de fricción en los contornos (1), figura 1. Esta implementación ha permitido reproducir flujos en cauces, pero requiere de una calibración específica para cada caso, con el apoyo de experimentación física o numérica con otro software.

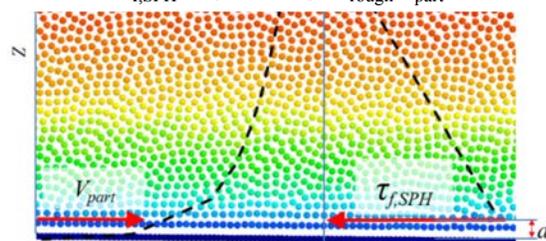
$$\tau_{f,SPH} = \rho v_*^2 = \rho C_{rough} v_{part}^2 \quad (1)$$


Figura 1 | Tensión tangencial de fricción introducida en el método SPH.

El trabajo que se presenta en este resumen es la culminación del proceso de calibración de esta condición de contorno de fricción, que posibilita la aplicación del método SPH para estudios hidrodinámicos en cauces, sin calibración previa. Se ha seleccionado como caso de prueba un canal recto y sección rectangular en el que se alcanza las condiciones de régimen permanente y uniforme. Este funcionamiento está bien caracterizado en la literatura técnica (García, 2008). Alcanzadas las condiciones de régimen el campo de velocidad presenta un perfil vertical logarítmico, un perfil de tensiones lineal y uno parabólico el de la viscosidad turbulenta.

Se han realizado 60 experimentos con diferentes coeficientes de fricción C_{rough} , diferentes coeficientes viscosos α y diferentes caudales unitarios para estudiar la influencia del grado de discretización (2). La pendiente hidráulica en todos los experimentos ha sido supercrítica. Para alcanzar el régimen uniforme algunos ensayos han requerido longitudes de 1500 m y tiempos de estabilización de más de 600 segundos. Establecido el régimen se ha obtenido de cada ensayo el perfil de velocidad y se ha realizado el ajuste a un perfil logarítmico (3).

$$D_a = \frac{dx}{H} \quad (2)$$

$$v(z) = a \ln\left(\frac{z}{k_s}\right) + b \quad (3)$$

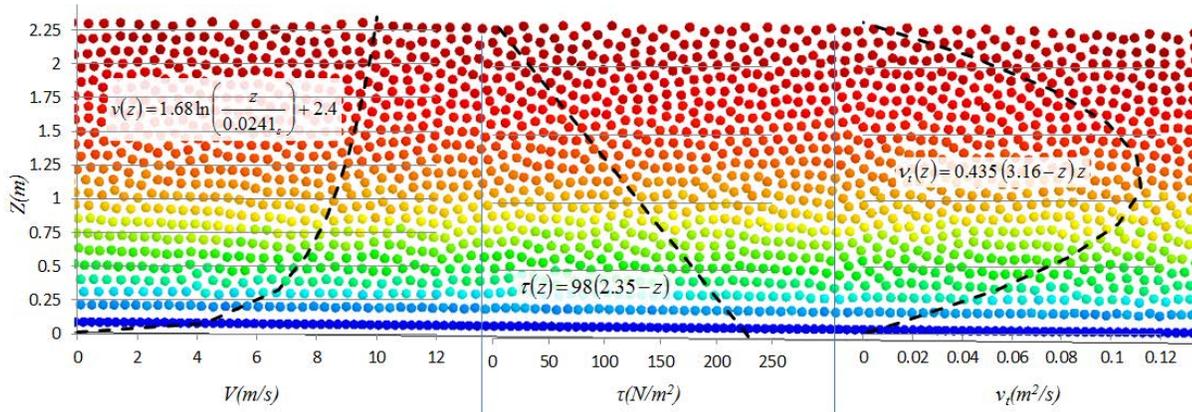


Figura 2 | Tensión tangencial de fricción introducida en el método SPH.

El análisis de estos experimentos ha permitido obtener la expresión del coeficiente a del perfil logarítmico que proporciona una simulación SPH en función de la velocidad de arrastre v_* , del coeficiente de discretización adimensional, D_a y del coeficiente de viscosidad turbulenta α (4). Esto proporciona un criterio para analizar la semejanza hidráulica de una simulación SPH (5), siendo k la constante de Von Karman. Así mismo, se ha obtenido una formulación (6) que proporciona el valor de rugosidad C_{rough} que debe emplearse en una simulación SPH en función de la n de Manning o K_s de Nikuradse que se quiera reproducir en los contornos.

$$a = \frac{v_*}{C_\alpha D_a} \quad (4)$$

$$C_\alpha D_a = k \quad (5)$$

$$C_{rough} = \frac{g(H - C_e r_o)}{H^{4/3}} n^2 \left(\frac{a \left(\ln \frac{H}{k_s} - 1 \right) + b}{a \left(\ln \frac{C_e r_o}{k_s} - 1 \right) + b} \right)^2 \quad (6)$$

REFERENCIAS

- García, M.H. 2008. *Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice*. Environmental and Water Resources Institute (U.S.), ASCE. ISBN 978-0-7844-0814-8.
- López, D., Marivela, R., Garrote L. (2010) “Smooth particle hydrodynamics model applied to hydraulic structures: A hydraulic jump test case.” *Journal of Hydraulic Research*, 48, Extra Issue, pp.142–158. ISSN: 0022-1686.
- López, D., de Blas, M., Marivela, R., 2012. SPH method applied to hydraulic structures. Friction boundary condition. 4th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, 9-11 February 2012, Porto, Portugal, ISBN: 978-989-8509-01-7

Incidencia de la actividad humana y desarrollo de actuaciones de restauración sobre el complejo lagunar de Lastras de Cuéllar y Hontalbilla (Segovia). Plan PIMA Adapta

López Argüeso, R.^a, Fernández Benítez, M.^b, Pérez Álvarez, C.^c y Díez de las Heras, A.^d

^aJefe del Área de Asistencia Técnica y Programación de la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD) (c/Muro nº 5 47004 Valladolid - rla@chduero.es)

^bJefe de Servicio Técnico de la CHD (c/Muro nº 5 47004 Valladolid - mif@chduero.es)

^cTécnico de obra en TRAGSA (c/Cobalto 5 47012 Valladolid - cperez1@tragsa.es)

^dIngeniero de Montes en TRAGSATEC (c/Cobalto 3 47012 Valladolid - adiez1@tragsa.es)

Línea temática | A. Dinámica fluvial y de estuarios y deltas

RESUMEN

El Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España (Plan PIMA Adapta), que promueve el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente desde el año 2015, tiene como objetivo desarrollar actuaciones que incrementen el conocimiento de los impactos del cambio climático, así como los riesgos y la vulnerabilidad del ecosistema para el diseño de proyectos. Una de las actuaciones incluidas en el citado Plan es el Proyecto de Restauración de las Lagunas de Lastras de Cuéllar y Hontalbilla (Segovia), así como su posterior seguimiento.

Las lagunas de Lastras de Cuéllar y Hontalbilla (Segovia) forman parte del conjunto de humedales asociados al sistema dunar que cubre parte de la llamada Tierra de Pinares segoviana. En la actualidad se conservan tres lagunas, denominadas Laguna Tenca, Laguna del Carrizal (localizadas en el municipio de Lastras de Cuéllar) y Laguna Lucia (en el vecino término de Hontalbilla). Este conjunto goza de una notable singularidad geomorfológica.

La riqueza de la flora y fauna presentes en su entorno motivó que este espacio fuese catalogado como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y en la actualidad Zona de Especial Conservación (ZEC) propuesto con el nombre de “*Lagunas de Cantalejo*”. Dentro de los valores naturales destaca la presencia de varios tipos de hábitats de interés comunitario, tales como el 3150 - Lagos eutróficos naturales con vegetación *Magnopotamion* o *Hydrocharition*, o el 6420 - Prados mediterráneos de hierbas altas y juncos (*Molinion-Holoschoenion*). Asimismo, las tres lagunas forman parte del Catálogo de Zonas Húmedas de Interés Especial de Castilla y León.

Este conjunto de humedales ha sufrido de manera continua la incidencia de las actividades humanas bien sea como consecuencia del vertido de aguas residuales de núcleos urbanos próximos y explotaciones agropecuarias, actividades agrícolas colindantes e incluso explotación directa de los recursos de las lagunas. Además, la incidencia del cambio climático también ha modificado sustancialmente el entorno afectando de manera directa al ecosistema lagunar.

El objeto del Proyecto ha sido realizar un completo estudio para la caracterización bioecológica del complejo lagunar, encaminado a determinar el estado actual de conservación del espacio natural mediante el establecimiento y valoración de bioindicadores y otros parámetros que permitan definir las actuaciones idóneas para la mejora del estado de conservación. Además, se han llevado a cabo una batería de actuaciones para mejorar el estado de conservación y potenciar el uso público con carácter didáctico y sostenible (sendas peatonales, itinerarios, observatorios de aves, estaciones de anillamiento, etc.).



Imagen 1 | Vuelo AMS-1946/47. Ministerio de Defensa (CECAF). Imagen procedente de los archivos del Ejército del Aire.

Imagen 2 | Vuelo AMS-1956. Ministerio de Defensa (CEGET).

Imagen 3 | Vuelo 1979.

Imagen 4 | Ortofoto PNOA 2013.

Las conclusiones de los estudios realizados evidencian una continua reducción del espacio lagunar, que si bien fue más intensa en la segunda mitad del siglo pasado como consecuencia de la intensificación de la agricultura, durante el presente siglo continúa de manera más leve. Por otra parte, el estado ecológico de la laguna del Carrizal mostró importantes diferencias en cuanto a su estado de conservación, ya que se comprobó que cada una de las dos láminas que la componen presentaba condiciones distintas, ya que si bien la occidental presentó condiciones eutróficas-hipertróficas, la oriental se ha clasificado como mesotrófica.

El estado de conservación de la laguna Lucia no se pudo evaluar convenientemente por encontrarse completamente anegada de macrófitas, por lo que se consideró necesario llevar a cabo el decapado experimental de dos zonas independientes que podrán evaluarse en la fase actual de seguimiento, que se va a realizar durante el presente ejercicio.

Asimismo el estudio ha servido para poner de manifiesto una notable diversidad malacológica y entomológica en el área. También se han obtenido muy buenos resultados en los inventarios de anfibios, aves y mamíferos que confirman el enorme valor del humedal, enclavado en una zona mixta de pinar muy poco productiva y terreno agrícola explotado con intensidad.

AGRADECIMIENTOS

La Confederación Hidrográfica del Duero ha sido la encargada de desarrollar esta actuación, promovida por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente a través del Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España (Plan PIMA Adapta). El citado Plan, que se inició el año 2015, incluye entre las actuaciones a realizar durante el año 2017 el *“Seguimiento del Proyecto de Restauración de las lagunas de Lastras de Cuéllar y Hontalbilla (Segovia). Plan PIMA Adapta”*.

REFERENCIAS

Pérez-Cecilia, P., Rosa, E. 2016. *Caracterización bioecológica de las lagunas de Lastras de Cuéllar y Hontalbilla (Segovia)*. Estudios y Proyectos LINEA, Valladolid, Spain.

Riego capilar por mecha en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema combinado de solución nutritiva y suelo, como alternativa en la agricultura urbana de Bolivia

Medrano García, P.^{a1}, Chipana Rivera, R.^{a2}, Moreno-Pérez, M. F.^{a3}, Roldán Cañas, J.^{a4}

^{a1,a2}Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, ^{a3,a4}Universidad de Córdoba, España.
E-mail: ^{a1}pam_medrano03@hotmail.com, ^{a2}renechipana@yahoo.com, ^{a3}mfatima@uco.es, ^{a4}jroldan@uco.es

Línea temática | A. Dinámica fluvial y de estuarios y deltas

RESUMEN

En la zona occidental de Bolivia, los grandes centros urbanos de consumo, en concreto el conjunto de las ciudades de La Paz y El Alto, se encuentran “alejados” de las principales zonas de producción de hortalizas, debido a que las carreteras que las unen fueron construidas en zonas de topografía accidentada, afectando el transporte a la calidad y al precio de los vegetales. Como consecuencia, la agricultura urbana y periurbana se está haciendo cada vez más popular, existiendo diferentes sistemas de cultivo sin suelo, con el uso de soluciones nutritivas (Gutiérrez, 2011). Por otro lado, esta región se caracteriza por ser semiárida y árida, donde en los últimos años se tuvieron sequías que provocaron racionamiento en el abastecimiento de agua a las ciudades. En ese sentido, es necesario buscar opciones que permitan usar eficientemente el agua en la agricultura, así como técnicas adecuadas de nutrición de las plantas.

El presente estudio fue realizado en invernaderos del centro Experimental de Cota Cota, dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, ubicado en la zona sur de la ciudad de La Paz a 3400 m.s.n.m., cuyas coordenadas son 16°32' de Latitud Sur y 68°8' de longitud oeste. Para ello se utilizaron envases de plástico reciclados de 5 litros de capacidad.

Inicialmente, se cortó la parte superior del envase, y se le volteó para colocar en diferentes envases dos tipos de suelos: 0,75 kg de suelo franco (F); y 1,50 kg de arena (A). En la parte restante del envase se puso la solución nutritiva y el agua en un volumen de 2700 cm³. Posteriormente, se insertó una mecha de algodón que iba de la mitad de la profundidad del suelo hasta el fondo del envase, es decir, estaba inmerso en la solución nutritiva. En el trabajo se utilizó el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Var. Waldman's Green, a razón de una planta por envase, dando una densidad de 12 plantas /m². Previamente al trasplante se humedeció el suelo hasta capacidad de campo. El registro de datos de consumo de agua se inició después del trasplante de las plántulas, y para eliminar la evaporación de agua se cubrió el suelo con papel de aluminio. Se utilizaron tres soluciones nutritivas, FAO, La Molina (LM) y Boliviana (BO), que combinadas con los dos tipos de suelos dieron seis tratamientos. La evaluación se realizó en dos ciclos de cultivo. En el primero, el trasplante se efectuó el 26 de marzo y la cosecha el 16 de mayo de 2016 (con una duración de una semana); en el segundo, el trasplante se efectuó el 22 de septiembre y la cosecha el 7 de noviembre de 2016 (también con una semana de duración).

En las tablas 1 y 2 se exponen, respectivamente, los resultados obtenidos en el primer ciclo del cultivo y los resultados obtenidos en el segundo ciclo del cultivo, utilizando el riego por mecha. Además, en la parte inferior de cada casilla de la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos para los mismos tratamientos, pero sin el uso del riego por mecha, en el segundo ciclo de cultivo.

Sammis et al. (1988) encontraron una productividad para la lechuga de 24 g/L, en tanto que Gallardo et al. (1996) obtuvieron 48 g/L. Debido a que las temperaturas fueron mayores durante el segundo ciclo, la duración del periodo vegetativo del cultivo fue menor, sin embargo, el consumo de agua y el rendimiento fueron mayores, así como la productividad del agua. Dentro los tratamientos, el que dio mejores resultados fue la solución nutritiva recomendada por la FAO, seguida por la solución desarrollada en la Universidad Agraria la Molina. En cuanto a los sustratos utilizados prácticamente no hubo diferencias.

Tabla 1 | Resultados obtenidos en el primer ciclo de cultivo aplicando riego por mecha.

	Rendimientos promedio de materia fresca (g/planta)	Rendimientos promedio de materia seca (g/planta)	Consumo total de agua promedio (cm ³ /planta)	Productividad del agua (g/litro)
F-FAO	91,64	9,57	2281,88	40,16
F-LM	66,52	7,93	2301,38	28,90
F-BO	57,32	5,28	2262,88	25,33
A-FAO	88,36	9,44	2335,13	37,84
A-LM	62,81	6,06	2333,00	26,92
A-BO	59,48	4,50	2294,88	25,92

Tabla 2 | Resultados obtenidos en el segundo ciclo de cultivo aplicando riego por mecha / sin riego por mecha

	Rendimientos promedio de materia fresca (g/planta)	Rendimientos promedio de materia seca (g/planta)	Consumo total de agua promedio (cm ³ /planta)	Productividad del agua (g/litro)
F-FAO	99,67/103,87	10,39/10,57	2465,17/2469,17	40,43/42,07
F-LM	71,25/73,58	8,43/8,41	2327,50/2359,17	30,61/31,19
F-BO	60,34/59,57	5,22/5,12	2291,00/2299,00	26,34/25,91
A-FAO	98,21/95,02	10,70/10,49	2468,83/2442,33	39,78/38,91
A-LM	80,08/80,50	6,55/6,60	2353,67/2373,33	34,02/33,92
A-BO	64,04/61,17	4,80/4,49	2246,17/2295,50	28,51/26,65

Comparados los sistemas sin y con mecha, el rendimiento, consumo y productividad del agua fueron similares, sin embargo, en las primeras semanas después del trasplante hubo mayor consumo de agua en los sistemas con mecha, posteriormente se invirtió el proceso, debido a que, en los sistemas sin mechas, para la absorción de agua hubo un abundante sistema radicular que descendió hasta la solución nutritiva. Escarabajal-Henarejos et al. (2015), observaron una buena relación entre la profundidad radicular y el porcentaje de suelo cubierto por la planta de lechuga.

En cuanto al consumo de agua en el sistema de riego por mecha, al ser de una única aplicación de agua y al cubrirse el suelo para evitar la evaporación, este fue bajo comparado con otros sistemas de cultivo de lechuga como ser riego por goteo, hidroponía, etc. Además, en este tipo de sistemas el consumo de energía es cero, por lo que se constituye en una alternativa para el cultivo de hortalizas de hoja, en pequeñas extensiones de terreno.

REFERENCIAS

- Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J. M., Fernández-Pacheco, D. G., García-Mateos, G. 2015. Methodology for obtaining prediction models of the root depth of lettuce for its application in irrigation automation. *Agricultural Water Management*. 151: 167 – 173.
- Gallardo, M., Jackson, L. E., Schulbach, K. et al. 1996. Production and water use in lettuces under variable water supply. *Irrigation Science*. V. 16. pp 125 – 137.
- Gutiérrez, T. J. 2011. Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México. 66 p.
- Sammis, T. W., Kratky, B. A., Wu, I. P. 1988. Effects of limited irrigation on lettuce and chinese cabbage yields. *Irrigation Science*. V. 9. pp 187 – 198.

Procesos de transporte de sedimentos en un cauce aluvial con modelación hidráulica bidimensional

Nácher-Rodríguez, B.^a, Vallés-Morán, F.J.^a, Balaguer-Beser, A.^b, Lobera, G.^c, López-Tarazón, J.A.^{c,d,e}, Vericat, D.^{c,f}, Batalla, R.J.^{c,f,g}

^a Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. España. E-mail de contacto: beanacro@cam.upv.es ^b Departamento de Matemática Aplicada. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. España. ^c Fluvial Dynamics Research Group –RIUS, University of Lleida, Lleida, Catalonia, Spain. ^d Institute of Earth and Environmental Science, University of Potsdam, Potsdam, Germany. ^e School of Natural Sciences and Psychology, Liverpool John Moores University, Liverpool, UK. ^f Forest Sciences Centre of Catalonia, Solsona, Catalonia, Spain. ^g Catalan Institute for Water Research, Girona, Catalonia, Spain.

Línea temática | A. Dinámica fluvial y de estuarios y deltas

RESUMEN

Los modelos hidráulicos bidimensionales son hoy en día una herramienta clave para el estudio hidrodinámico de ríos y sus llanuras de inundación. Cuando estos modelos incorporan módulos de transporte de sedimentos, pueden ser empleados para modelar los procesos erosivos y de sedimentación que se dan en el cauce, y que dan lugar a la evolución morfológica del mismo (Batalla y Tena, 2016). La modificación de la morfología fluvial tiene lugar una vez se superan los umbrales de cambios geomorfológicos en el cauce (Schumm, 1979). Estos umbrales pueden verse modificados como consecuencia del cambio global, considerando éste como la combinación del cambio climático y la acción antrópica directa. Los grupos de expertos en cambio climático (EEA, 2017) predicen escenarios futuros que combinan una creciente frecuencia y magnitud de crecidas e inundaciones, con sequías prolongadas en las cuencas mediterráneas. Los efectos más graves se prevén en las cuencas que han sufrido cambios drásticos en los usos del suelo (urbanización, nuevas zonas agrícolas, deforestación, etc.). En este contexto, existe una necesidad social de determinar el riesgo asociado a este cambio.

Con este estudio se pretende **evaluar el potencial de los modelos hidráulicos bidimensionales para representar la evolución morfológica en un tramo de río** en particular. En este caso, se trata del río Ésera en su paso por la localidad de Perarrúa (Aragón). Este cauce ha sufrido cambios morfológicos importantes, derivados de una extracción masiva de sedimentos en el lecho, donde originalmente existía una barra de gravas (Figura 1).



Figura 1 | Tramo de estudio río Ésera en Perarrúa. La barra existente (2009) fue completamente eliminada durante una extracción de gravas (2012), y está volviendo a formarse en la actualidad (2015).

La evolución del tramo, incluida la incipiente formación de la nueva barra, se estudia mediante simulación hidráulica con lecho móvil. El software empleado es el modelo Iber (Bladé et al., 2014), desarrollado por el GEAMA y el Instituto FLUMEN, en colaboración con el CEDEX y la Dirección General del Agua, que simula el flujo en lámina libre resolviendo las conocidas ecuaciones de flujo en aguas someras (Shallow Water Equations), mediante un esquema explícito de volúmenes finitos con mallas tanto estructuradas como no estructuradas. Este modelo es capaz de resolver flujos subcríticos y supercríticos,

así como los cambios de flujo, y dispone de varios módulos adicionales, como el de transporte de sedimentos por carga de fondo y en suspensión. La modelación del transporte de sedimentos se lleva a cabo acoplando la ecuación de Exner con el sistema de ecuaciones que resuelven la hidrodinámica del flujo líquido. Por tanto, puede ser empleado para simular el transporte de sedimentos y la evolución del lecho en ríos y estuarios.

Las simulaciones se han llevado a cabo con los datos obtenidos en el proyecto Consolider Ingenio 2010 CSD2009-00065 SCARCE. Durante tres años, se llevó a cabo un extensivo trabajo de campo para recopilar los siguientes tipos de datos en diferentes instantes temporales: topografía y batimetría, distribución granulométrica de los sedimentos en el área de estudio, capas de hábitats o usos del suelo, caudales y puntos de calibración, transporte de sedimentos en suspensión y por carga de lecho. Toda esta información es imprescindible para calibrar y validar el modelo numérico. Una vez preparado, se realizan simulaciones para diferentes caudales, registrados durante el tiempo de duración del proyecto SCARCE, que son capaces de generar cambios morfológicos importantes en el tramo (erosión y sedimentación). Estos cambios se deben fundamentalmente a la movilización del material de mayor tamaño como carga de lecho. De manera adicional, se activa el módulo de transporte en suspensión de Iber. Así, se puede evaluar tanto la capacidad del modelo para representar la formación de la nueva barra, como para representar correctamente los dos tipos principales de movimiento de sedimentos en el cauce, por carga de lecho y en suspensión.

Los resultados preliminares son prometedores, ya que muestran una acumulación de sedimentos en la zona donde originalmente se encontraba la barra, tal y como se observa en la Figura 2. Con el modelo calibrado y validado, es posible simular distintos escenarios futuros de cambio global, y evaluar su repercusión sobre el río y sus llanuras de inundación.

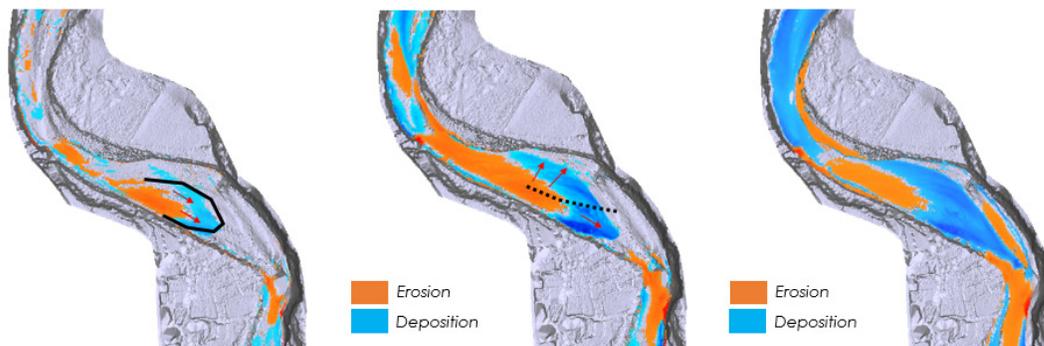


Figura 2 | Resultados preliminares de las simulaciones numéricas, donde se observa la formación de un depósito de sedimentos en la localización original de la barra, con erosión en la zona de pozas naturales.

REFERENCIAS

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* Vol.30 (1) pp.1-10
- Batalla, R.J., Tena, A. 2016. *Procesos hidrosedimentarios en medios fluviales*. Editorial Milenio. ISBN: 9788497437325.
- EEA. 2017. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 - an indicator-based report*. EEA Report No 1/2017. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
- Schumm, S. A. 1979. Geomorphic thresholds: the concept and its applications. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 485-515.

Influencia de la implementación de una central hidroeléctrica reversible en la hidrodinámica y el comportamiento térmico del embalse de Matalavilla (Alto Sil, León, España)

Ramos-Fuertes, A.^{a1}, Palau, T.^b y Dolz, J.^{a2}

^a Instituto Flumen, Universitat Politècnica de Catalunya – Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Campus Nord ed. B0, Jordi Girona 1-3, Barcelona. E-mail: ^{a1}anais.ramos@upc.edu, ^{a2}j.dolz@upc.edu. ^b Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, Universitat de Lleida. E-mail: apalau@macs.udl.cat.

Línea temática | A Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y humedales.

RESUMEN

Las centrales hidroeléctricas de bombeo o reversibles contribuyen a incrementar la capacidad de regulación del sistema eléctrico y garantizar el balance instantáneo producción-consumo ante la penetración creciente de generación no gestionable como la eólica y la fotovoltaica (Wilhelmi, 2013). Su esquema de funcionamiento consiste en un sistema de dos embalses, situados a diferente altitud, e interconectados mediante uno o más grupos bomba-turbina: el agua contenida en el embalse inferior es bombeada durante las horas de menor demanda eléctrica a otro depósito situado a cota más alta, con el fin de turbinarla posteriormente para generar electricidad en las horas de mayor consumo eléctrico. Actualmente, este tipo de centrales constituyen en torno al 1% de la producción eléctrica europea y española (IDAE, 2011; Gimeno-Gutiérrez y Lacal-Aránegui, 2013). En España, el Plan de Energías Renovables 2011-2020 contempla un incremento considerable de la potencia instalada de bombeo, pasando de 5347 MW en 2010 a 8811 MW en 2020 (IDAE, 2011).

La limnología ocupa un lugar de creciente importancia en la gestión de embalses (Prats *et al.*, 2014). En el caso de la implementación de centrales de bombeo puro, en las que no existen aportaciones naturales al embalse superior, los efectos limnológicos previsibles se suelen concretar en determinar la influencia que pueda ejercer su operación en el embalse inferior, por lo general ya existente. La base de estos efectos limnológicos es en buena medida de tipo hidrodinámico y se fundamenta en los posibles cambios sobre el ciclo térmico del embalse, con particular atención en los procesos de estratificación térmica y mezcla de la columna de agua. Todo ello, junto con los efectos sobre el tiempo de residencia del agua, puede condicionar de forma significativa la organización física, química y biológica del embalse.

En el presente trabajo se expone un análisis del actual comportamiento térmico e hidrodinámico del embalse de Matalavilla, localizado en el río Valseco (afluente del Sil, León, España), y alguno de los posibles efectos de un proyecto de puesta en funcionamiento de una central reversible. Se ha dispuesto de una red *ad hoc* de medida de variables hidrometeorológicas que consta de una estación meteorológica, una instalación de medida de flujos de radiación sobre la superficie del agua y cuatro puntos de medida de la temperatura del agua de entrada y salida del embalse. Esta instrumentación ha completado otra información disponible: caudales de entrada y de salida, volúmenes embalsados y los datos adquiridos por una plataforma multiparamétrica instalada en el embalse con el fin de monitorizar la calidad físico-química del agua en general y la organización térmica de la columna de agua, en particular.

Al objeto de estudiar en detalle la hidrodinámica actual del embalse del Matalavilla y los posibles escenarios futuros bajo la explotación del aprovechamiento reversible proyectado, se ha utilizado el modelo numérico bidimensional CE-QUAL-W2 (Cole y Wells, 2015), que permite simular la hidrodinámica de embalses en las dimensiones longitudinal y vertical. Gracias a la disponibilidad de información de campo, el modelo ha sido calibrado y validado, representando de manera satisfactoria la organización térmica monitorizada (Figura 1) y, por extensión, el comportamiento térmico e hidrodinámico del embalse de Matalavilla bajo diferentes hipótesis meteorológicas, hidrológicas y de explotación.

Los posibles efectos de la implementación de una central de bombeo en la dinámica del embalse de Matalavilla se han evaluado mediante la simulación de escenarios que incluyen la influencia de la masa de agua adicional que constituye el

depósito superior bajo el régimen de operación previsto. Se analizan los cambios estimados por el modelo en procesos descriptivos del comportamiento térmico de Matalavilla como son la duración e intensidad de la estratificación térmica, el balance térmico del embalse y el calor intercambiado entre ambas masas de agua.

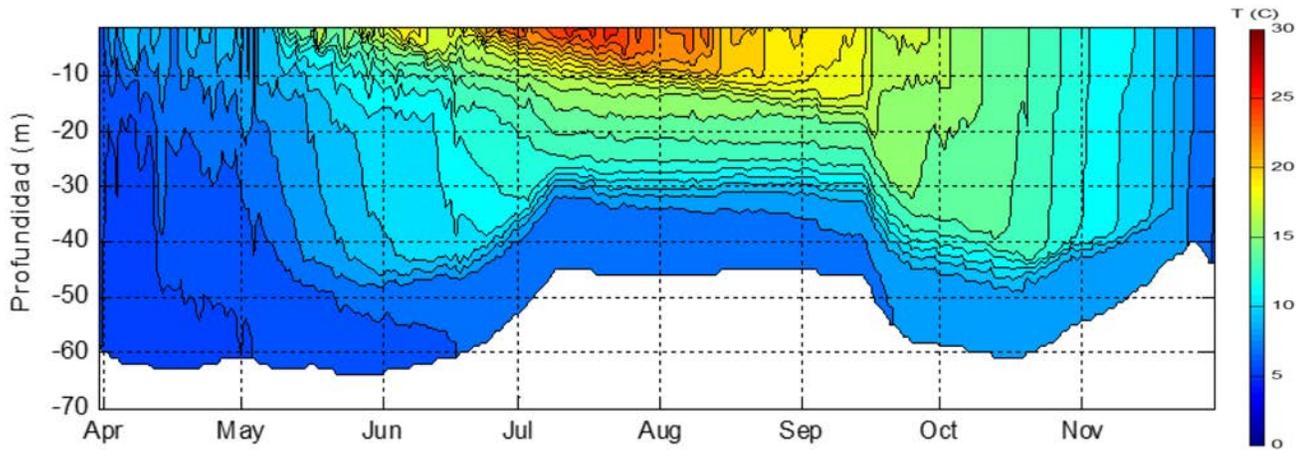


Figura 1 | Comportamiento térmico estimado por el modelo calibrado CE-QUAL-W2 en las cercanías de la presa del embalse de Matalavilla, abril-noviembre de 2015.

REFERENCIAS

- Cole, T. M. y Wells, S. A. 2015. *CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.72*. Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, USA.
- Gimeno-Gutiérrez, M. y Lacal-Aránegui, R. 2013. *Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage*. Technical report. Joint Research Centre of the European Commission, Netherlands.
- IDAE. 2011. *Plan de Energías Renovables 2011-2020*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, España.
- Prats, J., Morales-Baquero, R., Dolz, J. y Armengol, J. 2014. Aportaciones de la limnología a la gestión de embalses. *Ingeniería del Agua* 18(1), 83-97.
- Wilhelmi Ayza, J. R. (2013). El papel de la hidroelectricidad en el contexto de las energías renovables en España. *Revista de Obras Públicas* 160 (3548), 35-42.

Modelación numérica bidimensional de la dinámica sedimentaria del río Ebro en Castejón

Ribé, M.^{a1}, Bladé, E.^{a2} y Dolz, J.^{a3}

^{a1}Institut Flumen (UPC-CIMNE), Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech. Campus Nord. E-mail: ^{a1}marti.ribe@upc.edu, ^{a2}ernest.blade@upc.edu, ^{a3}j.dolz@upc.edu.

Línea temática | A. Dinámica fluvial y de estuarios y deltas

RESUMEN

El objeto de este estudio consiste en la construcción y calibración de un modelo numérico para la simulación de la dinámica sedimentaria del tramo de río Ebro comprendido entre los puentes de la N-113 y de la autopista AP-15 en Castejón de Ebro, para su posterior aplicación a otros tramos del mismo río.

Parámetros objeto de ajuste

- 1) Ecuación de transporte de fondo. Ecuación genérica [1]: $q_{sb}^* = \alpha \cdot (\tau_{bs}^* - \tau_c^*)^{3/2}$ [1]

Donde τ_{bs}^* : tensión de fondo adimensional calculada a partir de los resultados hidrodinámicos.

α y τ_c^* : parámetros de calibración. τ_c^* : tensión crítica adimensional, por debajo de la cual no hay transporte de fondo.

- 2) Condiciones de contorno
- Curva de gasto (relación Q-z): obtenida a partir de los datos facilitados por Iberdrola. Se ha tratado como una variable de ajuste dada la dispersión de estos datos y a la ausencia de ellos para caudales elevados.
 - Entrada de sedimento: se ha multiplicado la capacidad de arrastre calculada por Iber por un factor mayorador.
- 3) Manning: se han considerado tres escenarios distintos para el coeficiente de Manning.
- 4) Diámetro del sedimento: las observaciones del trabajo de campo establecen un tamaño medio de 5 cm. Para $d < 2$ cm los resultados se alejan mucho del comportamiento real. Pequeñas variaciones no alteran el resultado de forma significativa.

Trabajo de campo

- 1) Batimetrías: se realizaron dos batimetrías. Una anterior a la avenida de enero-marzo de 2015 y una posterior. La diferencia entre ambas (Figura 1) ha sido la base para el desarrollo de la calibración de los parámetros del modelo.

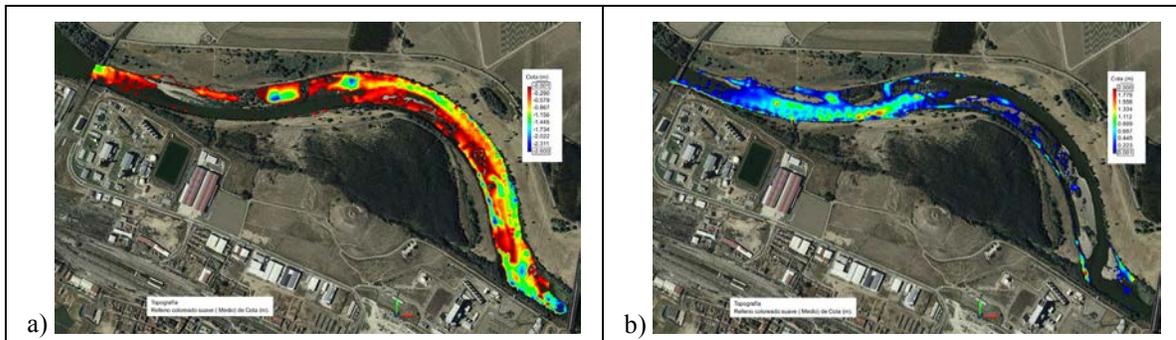


Figura 1 | Diferencia entre las dos batimetrías de la cota de fondo con Iber. a) Erosión. b) Sedimentación.

- 2) Hidrograma aguas arriba: avenida enero-marzo de 2015 medida en la estación de aforo de Castejón de Ebro (Figura 2a).
- 3) Curva de gasto extremo aguas abajo: obtenida a partir de los datos de Iberdrola (Figura 2b).

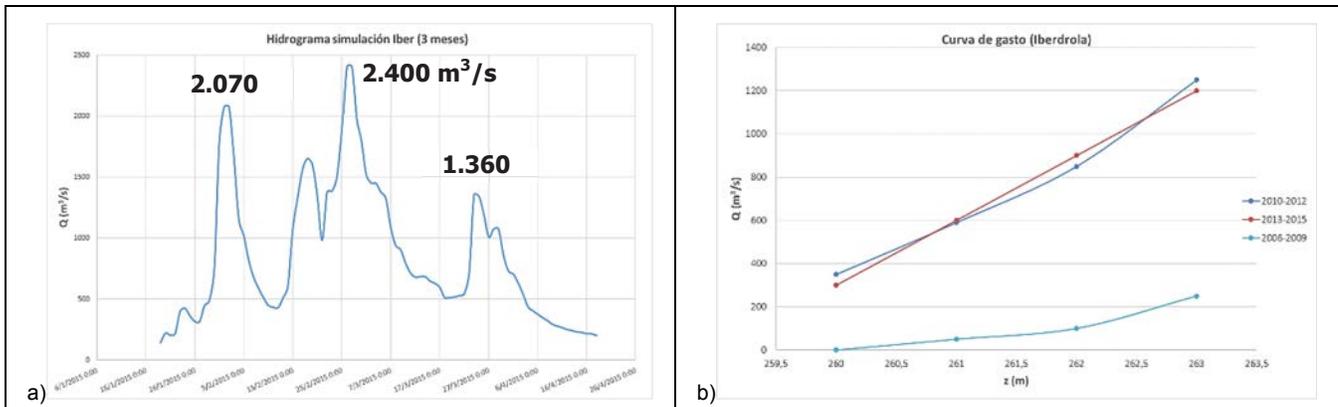


Figura 2 | Condiciones de contorno. a) Aguas arriba: Hidrograma. b) Aguas abajo: Curva de gasto.

Calibración de los parámetros del modelo

- 1) Casos de estudio: se han analizado un total de 35 casos variando convenientemente los parámetros de ajuste del modelo.
- 2) Resultado de la calibración: tras analizar dichos casos, se obtuvieron los siguientes parámetros calibrados del modelo: $\alpha = 4$ i $\tau_c^* = 0,026$. La bondad del modelo se evaluó mediante un gráfico de volumen acumulado de sedimento (Figura 3).

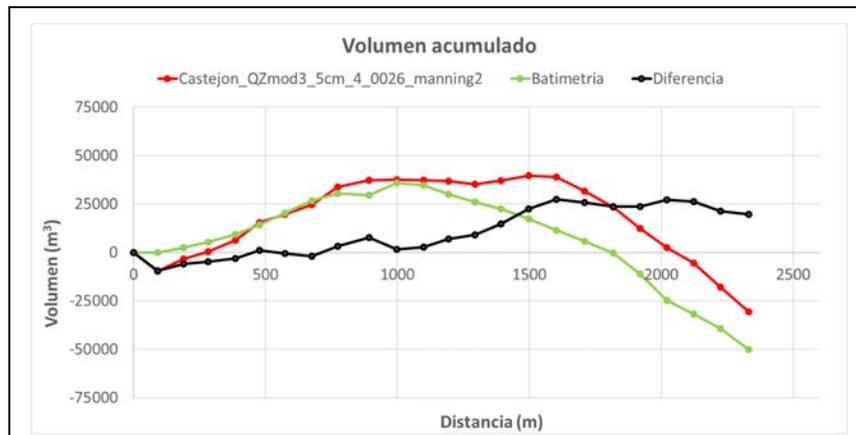


Figura 3 | Gráfico de volumen acumulado de sedimento a lo largo del tramo de estudio: calculado (rojo), medido (verde) y diferencia (negro).

Conclusiones

- Se ha desarrollado y calibrado un modelo numérico bidimensional para el cálculo de transporte de sedimentos, erosión y sedimentación en un tramo del río Ebro próximo a Castejón de Ebro mediante Iber.
- El proceso de calibración se ha realizado en base a dos batimetrías de la zona de estudio obtenidas durante la primavera de 2014 y la primavera de 2015, y los datos de las avenidas ocurridas en invierno de 2015.

REFERENCIAS

- Wong, M. and Parker, G. (2006). "Reanalysis and Correction of Bed-Load Relation of Meyer-Peter and Müller Using Their Own Database." J. Hydraul. Eng., 132:11(1159), 1159-1168
- García, M (2008) "Sediment Transport and Morphodynamics" en Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice, ASCE

Análisis numérico 3D de una rotura de presa mediante el uso de OpenFOAM

Esteban Sánchez-Cordero^a, Júlia Boix^b, Manuel Gómez^c, Ernest Bladé^d

^a Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril s/n., 01-01-168, Cuenca, Ecuador
Institut FLUMEN Universitat Politècnica de Catalunya, España (e-mail: escsanchezcordero@gmail.com)

^b Institut FLUMEN Universitat Politècnica de Catalunya, España (e-mail: jboliva95@hotmail.com)

^c Institut FLUMEN Universitat Politècnica de Catalunya, España (e-mail: manuel.gomez@upc.edu)

^d Institut FLUMEN Universitat Politècnica de Catalunya, España (e-mail: ernest.blade@upc.edu)

Línea temática | A. Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y deltas

RESUMEN

Una presa es una obra que se lleva a cabo para contener o regular el curso del agua en un cauce fluvial. La falla o rotura de una presa puede generar un importante impacto sobre la población, incluyendo la pérdida de vidas humanas, y un severo impacto al medio ambiente. De esta manera, el comportamiento del flujo de agua en una rotura de presa ha sido un tema de trabajo durante estos últimos años debido tanto a su interés práctico como académico. Numerosos modelos numéricos para la resolución de roturas de presa basados en las ecuaciones de Saint-Venant en 1D y 2D han sido utilizados. A causa del avance tanto en poder computacional como en la capacidad de memoria disponible de los computadores, los modelos numéricos 3D basados en las ecuaciones de Navier Stokes se han convertido en una alternativa de análisis en este tiempo.

Soluciones teóricas para la propagación de ondas de flujo fueron propuestas por (Stoker 1957; Wu et al. 1999). Simulaciones numéricas con ecuaciones 2D conocidas como shallow water equations (SWE) fueron realizadas por (Fraccarollo and Toro 1995, Frazão and Zech 2002). Otros ejemplos en los cuales también se obtuvo una representación exitosa usando modelos 2D fueron presentados por Aricò et al. (2007) y Ancy et al. (2008). Sin embargo, cuando se rompe una presa toda el agua almacenada en el embalse es liberada bruscamente y el flujo es influenciado principalmente por la aceleración vertical debida a la gravedad, haciendo que la hipótesis de la distribución de presión hidrostática no sea válida. El uso de enfoques numéricos 3D puede aportar información de importancia en el comportamiento del flujo en situaciones como las expuestas anteriormente. Así, diferentes modelos numéricos 3D han sido utilizados con bastante éxito en la captura del comportamiento dinámico del fenómeno en mención (Liang et al. 2007; Biscarini et al. 2010)

El presente artículo muestra un análisis numérico 3D de una rotura de presa a escala de laboratorio mediante el uso del código basado en el método de volúmenes finitos (FVM)- OpenFOAM. En el modelo numérico la turbulencia es tratada con la metodología LES (Large Eddy Simulation) y el método VOF (Volume of Fluid) es usado para la captura de la superficie libre del agua. Los resultados numéricos obtenidos se comparan con los datos experimentales de laboratorio presentados por Aureli et al. (2008). Para validar el modelo numérico se utilizan las variables de altura de agua y presión. La comparación entre los datos simulados por el modelo y los de laboratorio se realiza por medio del uso de valores métricos estadísticos como el error medio (ME), error medio absoluto (MAE) y el error cuadrático medio (RMSE). Una comparación preliminar de resultados muestra que el modelo numérico utilizado es capaz de reproducir las variables en estudio de una manera adecuada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento de la Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) del gobierno de la República del Ecuador a través de la beca doctoral del primer autor.

REFERENCIAS

- Ancey, C., Iverson, R. M., Rentschler, M., and Denlinger, R. P. (2008). "An exact solution for ideal dam-break floods on steep slopes." *Water Resources Research*, 44(1), 567–568.
- Aricò, C., Nasello, C., and Tucciarelli, T. (2007). "A marching in space and time (MAST) solver of the shallow water equations. Part II: The 2D model." *Advances in Water Resources*, 30(5), 1253–1271.
- Aureli, F., Maranzoni, A., Mignosa, P., and Ziveri, C. (2008). "Dam-Break Flows: Acquisition of Experimental Data through an Imaging Technique and 2D Numerical Modeling." *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(8), 1089–1101.
- Biscarini, C., Di Francesco, S., and Manciola, P. (2010). "CFD modelling approach for dam break flow studies." *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 705–718.
- Fraccarollo, L., and Toro, E. F. (1995). "Experimental and numerical assessment of the shallow water model for two-dimensional dam-break type problems." *Journal of Hydraulic Research*, Taylor & Francis Group, 33(6), 843–864.
- Frazão, S. S., and Zech, Y. (2002). "Dam Break in Channels with 90° Bend." *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(11), 956–968.
- Liang, D., Lin, B., and Falconer, R. A. (2007). "Simulation of rapidly varying flow using an efficient TVD–MacCormack scheme." *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, John Wiley & Sons, Ltd., 53(5), 811–826.
- Stoker, J. J. (James J. (1957). *Water waves : the mathematical theory with applications*. Wiley.
- Wu, C., Huang, G., and Zheng, Y. (1999). "Theoretical Solution of Dam-Break Shock Wave." *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(11), 1210–1215.

Simulación de rotura de presas aterradas con fondo móvil. Caso de estudio

Sanz-Ramos, M.^{a1}, Olivares, G.^{a2} y Bladé, E.^{a3}

^{a1}Institut Flumen (UPC-CIMNE), Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech. Campus Nord.
E-mail: ^{a1}marcos.sanz-ramos@upc.edu, ^{a2}gonzalo.olivares@upc.edu, ^{a3}ernest.blade@upc.edu.

Línea temática | A. Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y humedales

RESUMEN

Casuística

Las inundaciones fluviales son fenómenos naturales que causan graves daños económicos, ambientales y sociales (pérdida de vidas humanas). La sensibilidad de la población frente a eventos que potencialmente puedan ocasionar riesgo es muy diversa, dependen en gran medida del tipo de riesgo y de su percepción a la exposición al mismo.

La construcción de presas ha servido, entre otros aspectos, para reducir directamente los riesgos asociados a inundaciones fluviales (laminación de avenidas). Sin embargo, el propio elemento (presa) provoca *per se* un incremento en la percepción de la exposición al riesgo frente a una posible rotura.

La evaluación del riesgo potencial de inundación frente a un eventual fallo del cuerpo de presa (rotura) puede realizarse de múltiples maneras. En España los propietarios de presas y balsas de más de 5 metros de altura o más de 100.000 m³ de volumen están obligados a realizar su clasificación en función del riesgo potencial. Para su consecución se desarrollaron dos documentos: el “*Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses*” y la “*Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones*”. Ambos son de carácter descriptivo y general, de modo que fue necesaria su transcripción a un documento más pragmático: la “*Guía Técnica para la Clasificación de presas en función del riesgo potencial*”, en adelante Guía Técnica.

La Guía Técnica abarca el análisis de diferentes tipologías de presas y balsas (gravedad, contrafuertes, bóveda y materiales sueltos). Para cada una de ellas describe el tipo de rotura y características de la brecha. Las dimensiones de ésta sirven para definir el hidrograma tras la rotura, ya sea de manera teórica (para alimentar modelos numéricos o conceptuales) o directamente a través de modelos numéricos. El marco normativo deja cierta libertad para adaptar la metodología a cada caso de estudio, siempre que sea debidamente justificado (apartado 1, Capítulo III).

La ubicación de las presas en cauces de ríos interrumpe la dinámica sedimentaria de la cuenca, generando sedimentación en el vaso del reservorio. En función de los procesos erosivos de la cuenca, y de los años transcurridos desde su construcción, el nivel de sedimentos puede llegar a aterrizar parcial o completamente el embalse. Se plantea entonces la disyuntiva de cómo afrontar el análisis de rotura de presa: estado “inicial” o “actual”. Y, en caso de afrontarlo en la situación “actual”, cabe la posibilidad de que parte de los sedimentos depositados se movilicen tras la rotura (fondo móvil).

Es por todo ello que a continuación se presenta una nueva metodología, y su aplicación, para afrontar estudios de clasificación de presas de gravedad con aterramiento. Se ha aplicado esta metodología a un caso de estudio en una pequeña presa (5,25 m de altura) situada en la cuenca alta del río Llobregat (Gironella, Cataluña). En esta presa, del s. XIX, se han almacenado sedimentos hasta alcanzar un nivel de aterramiento superior al 75 % de su capacidad original. Puesto que los caudales de diseño son elevados, presumiblemente se producirá movilización del sedimento de fondo.

Caso de estudio

La presa, de hormigón y planta curva, presenta un único cuerpo de desagüe en la parte central (Fig. 1.b). Antiguamente daba servicio a una pequeña colonia industrial situada pocos metros aguas abajo en la margen derecha del río y en la actualidad sirve a una mini-central hidroeléctrica.

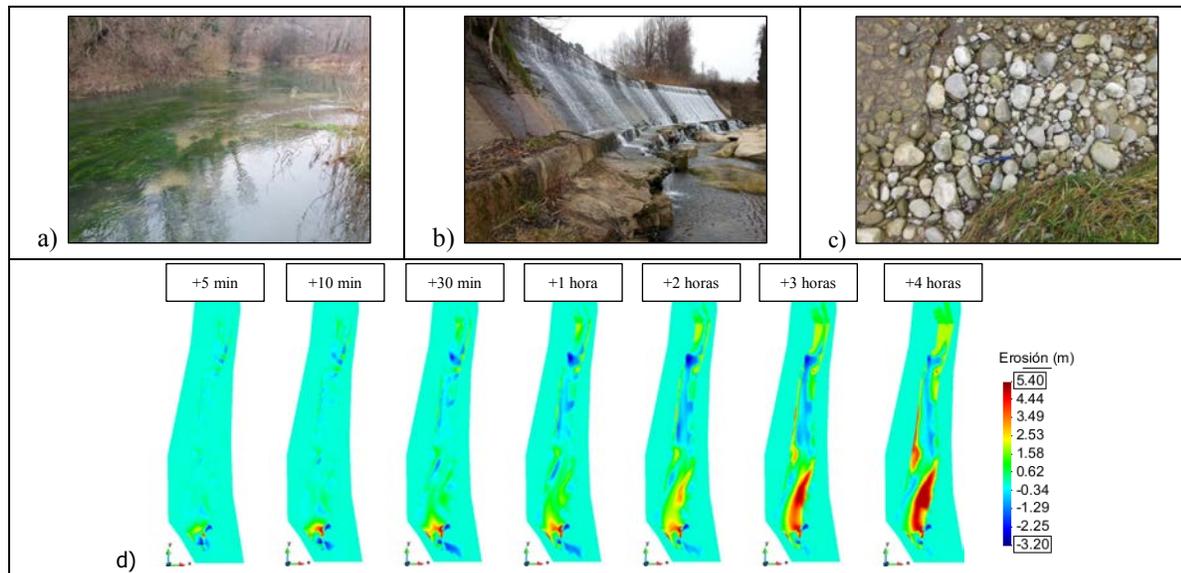


Figura 1 | Detalle del estado actual de la presa: a) aterramiento producido aguas arriba; b) descalce del pie de presa aguas abajo; c) tamaño de partícula aguas abajo de la presa (sedimento grueso). d) Evolución de la cota de fondo durante las 4 primeras horas de simulación.

La metodología propuesta se basa en lo descrito en el apartado 5.1 de la Guía Técnica (Método completo). Esta metodología contempla el estudio por separado: análisis de rotura para la obtención del hidrograma y posterior estudio hidráulico (modelización numérica). Para la obtención del hidrograma de salida se optó por considerar la situación actual (presa con aterramiento) y fondo móvil tras rotura. De modo que se realizó un estudio agregado de formación de brecha y transporte de sedimentos (fondo móvil). A tal fin se empleó el modelo matemático Iber (Bladé et al., 2014). Posteriormente el hidrograma obtenido alimentó a un modelo unidimensional para realizar el estudio hidráulico de clasificación de presa.

Con el modelo hidráulico bidimensional funcionando en régimen permanente, correspondiente a la avenida de 500 años de periodo de retorno, se formó la brecha según lo descrito en la Guía Técnica y se activó el módulo de transporte de sedimentos de Iber. Se empleó la formulación de Meyer-Peter & Müller (1948), con valores típicos de gravas (D_{50} de 0,03 m, porosidad de 0,4 y ángulo de fricción interna de 0,55).

Tras la rotura, los sedimentos se desplazaron ofreciendo una mayor capacidad de almacenaje de agua (Fig. 1.d). Esto provocó que el hidrograma de salida se incrementara, tanto en volumen total como en caudal punta. Comparándolo con un análisis clásico (situación original y fondo fijo), el hidrograma de salida fue 5 veces superior con la metodología propuesta.

REFERENCIAS

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., y Coll, A. 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya), 30(1), 1–10.
- Meyer-Peter, E. y Müller, R. 1948. Formulas for bedload transport. *Proceedings of the 2nd Congress, IAHR*, Stockholm, pp.39-64.

Determinación de la inundación en tramos de ríos afectados por marea basado en la simulación continua de nivel

Sopelana, J.^a, Cea, L.^b y Ruano, S.^c

^aAquática Ingeniería Civil S.L. Areal 42 2 d, 36201 Vigo. jsopelana@aquaticaingenieria.com

^bGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña. luis.cea@udc.es

^cUniversidade da Coruña. Alumna de International Master in Water Engineering. Curso 2015-2016. silda.ruano@gmail.com

Línea temática | A. Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y humedales

RESUMEN

Las desembocaduras, estuarios y tramos de ríos costeros son elementos hidrodinámicamente complejos resultado de la interacción de una o varias dinámicas independientes, como la marea astronómica, la marea meteorológica, el oleaje y el caudal del río, entre otras. Dejando de lado la dinámica del oleaje, la marea astronómica es una onda larga que se propaga agua arriba del estuario llegando a afectar a tramos de río a decenas de kilómetros de la costa. Por otro lado, estas zonas costeras se caracterizan por su elevada concentración urbanística, sobre todo después del boom inmobiliario de la pasada década, con la consecuente presión sobre el río. En España, el 44% de la población vive en los municipios costeros, los cuales apenas representan el 7% del territorio. Esto hace que sean zonas especialmente vulnerables ante inundaciones.

La directiva de inundaciones define la peligrosidad y el riesgo de inundación asociado a ciertos periodo de retorno (2.33, 10, 100 y 500 años). Además la nueva normativa de Dominio Público Hidráulico (DPH) introduce un nuevo concepto, la Zona de Flujo Preferente (ZFP), relacionado con la llanura de inundación de los 100 años de periodo de retorno. Tradicionalmente, la forma de resolver los estudios de peligrosidad por inundaciones en tramos de ríos afectados por la marea se han basado en la aplicación de una condición de contorno aguas abajo de nivel de marea fijada de forma más o menos arbitraria. En España la “Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables” aconseja aplicar una condición de contorno de nivel correspondiente al mismo periodo de retorno que el de la avenida que se esté modelizando. Esta forma de proceder no tiene en cuenta de forma correcta la probabilidad de ocurrencia de varios eventos extremos (nivel máximo de marea y caudal máximo en el río) al mismo tiempo (Archetti et al., 2011).

En otros países como Inglaterra, la DEFRA (2003) propone 6 metodologías diferentes en función de las variables a tener en cuenta (caudal del río, nivel del mar y oleaje) así como los datos disponibles. En el caso de considerar únicamente el caudal del río y el nivel del mar, las metodologías propuestas se reducen a 2. La primera es la simulación continua de nivel de agua basada en el modelado numérico de serie históricas coetáneas de nivel del mar y caudal. La segunda es similar a la anterior pero las series de caudal y nivel del mar están extrapoladas de una función de distribución. La metodología de simulación continua ya fue descrita por Acreman (1984), en la cual se define una serie de nivel en base a la simulación hidráulica de una serie histórica resultante de la combinación de las variables implicadas, en este caso caudal y marea. Esta metodología la aplicó al río Roding, afluente del río Thames, Londres, con una serie temporal de 50 años, con el objetivo de definir una distribución conjunta y ayudar a la operación de una compuerta frente a inundaciones. Este tipo de metodología, aunque apropiada, tiene una serie de desventajas que son: la disponibilidad de series de datos coetáneos, la extensión de la serie histórica y el coste elevado computacional de modelizar en continua una serie larga de años.

En este contexto, en este artículo se plantea una nueva metodología para definir la peligrosidad por riesgo de inundación. La metodología propuesta se basa conceptualmente en la descrita por Acreman (1984) de simulación en continuo pero aplicando mejoras como es el empleo de un modelo hidrodinámico bidimensional de alta resolución espacial y de series de datos sintéticas de 500 años de duración. Para poder definir la serie histórica de nivel con tiempos de cálculo razonables se ha adaptado la metodología híbrida de Camus et al. (2011), según la cual se reconstruye una serie histórica en base a los resultados del modelado numérico de unos casos característicos previamente seleccionados. Así, la metodología propuesta se puede resumir en

los siguientes pasos: 1) definición de los predictores y la escala temporal; 2) generación sintética de las series temporales históricas; 3) selección de casos característicos combinación de los predictores elegidos; 4) downscaling de los predictores en los casos seleccionados; 5) simulación numérica mediante modelo bidimensional Iber (Bladé et al., 2014) de los casos seleccionados; 6) reconstrucción de la serie temporal del nivel de agua en base a los resultados del modelo numérico; 7) determinación de los periodos de retorno. Con esta metodología se puede implementar fácilmente el efecto del aumento del nivel medio del mar debido al cambio climático, así como estudiar posibles escenarios futuros.

La metodología propuesta se ha aplicado al caso real de Betanzos (ARPSI costera ES014-CO-12-01-03-C, ARPSI fluvial ES014-CO-12-01-01). Betanzos es una ciudad histórica, ubicada en la unión de río Mendo con el Mandeo, en la cola del estuario de Betanzos, la cual ha sufrido inundaciones de forma frecuente, la mayoría asociadas a situación de mareas vivas. Se ha aplicado la metodología tomando como predictores el caudal, marea y desfase entre pleamar y pico del hidrograma, y se han comparado los resultados con los obtenidos mediante la metodología estándar definida por la guía metodológica.

REFERENCIAS

- Archetti R, Bolognesi A, Casadio A and Maglionico, M. 2011. Development of flood probability charts for urban drainage network in coastal areas through a simplified joint assessment approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 3115–3122. DOI: 10.5194/hess-15-3115-2011.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. 2014. “Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos”. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1): 1-10.
- Camus, P., Méndez, F.J., Medina, R. 2011. A hybrid efficient method to downscale wave climate to coastal areas. *Coastal Engineering*, Volume 58, Issue 9 (851-862).
- DEFRA, 2003. Extreme water levels in estuaries and rivers. The combined influence of tides, river flows and waves. *R&D Technical Report FD0206/TR1*.
- IH Cantabria. 2013. *Caracterización de hidrogramas asociados a eventos extremos en diversos puntos de la red fluvial de Galicia costa*. Departamento de planificación de Aguas de Galicia. Xunta de Galicia. España.

Línea temática B

Hidrología, usos y gestión del agua

Optimización Energética en Tiempo Real de la Programación del Riego mediante Algoritmos Genéticos Multiobjetivo Paralelos

Alonso, J.C.^a, Jiménez-Bello, M.A.^b y Martínez, F.^c

^a Estudiante de doctorado. E-mail: joalcam@iiama.upv.es.

^b Profesor Ayudante Doctor. E-mail: mijibar@dihma.upv.es.

^c Catedrático de Universidad. E-mail: fmartine@hma.upv.es.

^{a, b, c} Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n 46022, Valencia, España.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

Introducción

La necesidad de reducir el coste energético asociado a la presurización de las redes de riego ha desembocado en el desarrollo de diversas metodologías con el objetivo común de encontrar modos de operación óptimos que minimicen dicho coste, a la vez que garanticen una serie de restricciones hidráulicas.

Está demostrado que una gestión adecuada de la demanda mediante la organización de los turnos de riego, bien agrupando los hidrantes por sectores, o bien programando individualmente cada uno de los hidrantes, puede hacer que la estación de bombeo trabaje en los puntos de funcionamiento con mayor rendimiento, manteniendo unas presiones mínimas en los puntos críticos de la red (Jiménez-Bello et al. 2010, 2011, 2015).

Las distintas metodologías propuestas para optimizar la programación del riego están generalmente apoyadas en algoritmos metaheurísticos, como los Algoritmos Genéticos o los Algoritmos de Colonia de Hormigas (Alonso et al. 2015; García et al. 2015). Este tipo de métodos presentan la ventaja de ser muy flexibles, adaptándose fácilmente a cualquier problema, pero como contrapartida requieren un elevado esfuerzo computacional, y el ajuste de los parámetros propios del método a cada caso. Uno de los objetivos del presente trabajo es reducir el tiempo de cálculo necesario, para lo cual se ha implementado con éxito una herramienta de optimización en tiempo real, capaz de entregar un resultado óptimo en pocos minutos.

El enfoque multiobjetivo del método propuesto permite tratar el déficit de presión como un objetivo adicional. De este modo, el hecho de no descartar soluciones *a priori* (que quedarían descartadas en un algoritmo mono-objetivo) favorece la diversidad en la población. Dicha diversidad evita el estancamiento en óptimos locales y además, el hecho de obtener un conjunto de soluciones “no dominadas” (Frente de Pareto), permite elegir la solución final en base a distintos criterios.

Metodología

El nuevo método de optimización se ha desarrollado utilizando el algoritmo evolutivo multiobjetivo NSGA-II (Deb et al. 2002), en combinación con la simulación hidráulica de la red mediante la Toolkit de Epanet (Rossman 2000). Por otra parte, dado que la evaluación de cada individuo de la población es independiente del resto, se ha implementado la computación paralela para evaluar los individuos de cada generación, resultando con ello una reducción significativa del tiempo de cálculo.

El cromosoma se ha definido como una cadena de números enteros (genes), cada uno de los cuales indica el instante de apertura de un hidrante. Se considera que el hidrante permanece abierto hasta que finaliza su tiempo de riego previamente prefijado. La discretización del tiempo es un parámetro de entrada del modelo, mientras que la duración de la jornada de riego se considera un parámetro fijo.

En cuanto los objetivos a evaluar se han definido los siguientes:

Coste. El objetivo es minimizar el coste del bombeo a lo largo de la jornada de riego, considerando el rendimiento global de la estación de bombeo, la discriminación horaria de los precios de la energía y las penalizaciones por exceso de potencia.

Déficit medio de presión. Uno de los parámetros de entrada es la presión mínima a satisfacer en cada uno de los hidrantes. Este parámetro tiene en cuenta la diferencia de cota entre la estación de bombeo y el hidrante, así como las pérdidas de carga en el trayecto desde la fuente hasta él. En cada solución se calcula, mediante la simulación con Epanet, la presión más desfavorable en los hidrantes activos y se compara con la consigna mínima. El valor objetivo para cada solución es el promedio de las diferencias entre la presión de consigna y la mínima calculada, siempre que dicha diferencia sea positiva, es decir, siempre que haya déficit de presión.

Una vez obtenido el frente de Pareto se han definido diferentes criterios para la elección de la mejor solución. El frente de Pareto ofrece dos soluciones extremas, una en la que primaría la calidad del servicio, eligiendo la solución con menor déficit promedio de presión, aunque también la más cara, y otra correspondiente a la solución más económica, a la que corresponderá el mayor déficit de presión. Entre las soluciones intermedias, se ha aplicado el criterio de proximidad al punto utópico para ofrecer la solución más conveniente.

Resultados

El algoritmo se ha programado sobre la plataforma .NET y se han implementado una serie de servicios web mediante la tecnología API REST para su uso por parte de los gestores de la comunidad de regantes del Pantano Estrecho de Peñarroya (C. Real). Para una jornada de riego estándar, se ha alcanzado una reducción en el coste de bombeo de alrededor del 10% a la vez que se ha aumentado sensiblemente la presión en el hidrante más desfavorable. Cabe resaltar la solución inicial era ingenierilmente aceptable, garantizando las presiones mínimas y sin incurrir en penalizaciones por exceso de potencia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación por parte del programa de contratos pre-doctorales Val I+D de la Generalitat Valenciana (ACIF/2016/123).

REFERENCIAS

- Alonso, J. C., Jiménez-Bello, M. A., Martínez, F., and Bou, V. (2015). "Nueva metodología para optimizar la programación del riego aprovechando la diferencia de cota entre el punto de suministro y el de consumo." *XXXIII Congreso Nacional de Riegos*, Valencia, 450–459.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T. (2002). "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II." *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182–197.
- García, S., Faci, E., Aliod, R., Paño, J., Seral, P., and García, A. (2015). "Algoritmos y herramientas para la aplicación de estrategias de reducción de costes energéticos en sistemas de riego a presión." *Actas de las IV Jornadas de Ingeniería del Agua*, Córdoba, 411–420.
- Jiménez-Bello, M. A., Martínez Alzamora, F., Bou Soler, V., and Ayala, H. J. B. (2010). "Methodology for grouping intakes of pressurised irrigation networks into sectors to minimise energy consumption." *Biosystems Engineering*, 105(4), 429–438.
- Jiménez-Bello, M. A., Alzamora, F. M., Castel, J. R., and Intrigliolo, D. S. (2011). "Validation of a methodology for grouping intakes of pressurized irrigation networks into sectors to minimize energy consumption." *Agricultural Water Management*, 102(1), 46–53.
- Jiménez-Bello, M. A., Royuela, A., Manzano, J., and Martínez Alzamora, F. (2015). "A methodology to improve water and energy use by network sectoring and proper irrigation scheduling." *7th IWA International Conference on Efficient Use and Management of Water*, Paris, 1–11.
- Rossman, L. A. (2000). "EPANET 2: users manual." Cincinnati US Environmental Protection Agency National Risk Management Research Laboratory, 38(September), 2000.

Una excursión al subsuelo de la ingeniería del agua en la Grecia arcaica: dos trabajos (y otros afanes) de Hércules

Álvarez-Campana, J.M.^{a1} y Suárez, J.^{a2}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}j.alvarez-campana@udc.es, ^{a2}joaquin.suarez@udc.es

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

Probablemente, uno de los lugares más adecuados –una vez que estamos fuera del país Helénico– para hablar sobre Hércules (o Heracles, según preferencias) y de la ingeniería del agua, sea esta ciudad de A Coruña, una de las que están inscritas en el itinerario mitológico del héroe en su periplo hasta el extremo de la península ibérica y del occidente europeo. Una ciudad y una universidad coruñesas, en cuyo escudo domina la figura de la torre de Hércules, que se levanta sobre unos restos óseos atribuidos al gigante Gerión, fatal resultado de uno de los últimos trabajos del héroe. Los relatos sobre Hércules constituyen una referencia estructural, básica, de la cultura occidental ya desde las más tempranas fuentes clásicas, tanto griegas como latinas. En los albores del Renacimiento, las relecturas que humanistas italianos (Petrarca, Dante, Boccaccio) hacen de las fuentes clásicas revitalizan la figura de Hércules, quien desde la *Biblioteca mitológica* de Pseudo-Apolodoro (hacia el s. I o II d. C.) cuenta con un relato canónico de doce trabajos: I.- León de Nemea. II.- Hidra de Lerna. III.- Cierva cerinitia. IV.- Jabalí erimantio. V.- Limpieza de los establos de Augías. VI.- Aves estinfálidas. VII.- Toro de Creta. VIII.- Yeguas de Diomedes. IX.- Cinturón de Hipólita. X.- Vacas de Gerión. XI.- Manzanas de las Hespérides. XII.- Cerbero del Hades.

La serie (inicialmente de diez) de trabajos de Hércules forma parte de la secuencia teórica que lleva al héroe a la divinización. Una secuencia en todo relevante si se considera que en aquellos tiempos, de acuerdo con la opinión de Montero (2012:91): “La intervención del hombre sobre la naturaleza y en particular sobre montes y aguas ponía de manifiesto su grandeza pero también fue considerada como una agresión. Las relaciones entre técnica y religión fueron difíciles en todas las épocas, de gran tensión cuando no de enfrentamiento, como pone ya de relieve el célebre mito de Prometeo y el origen divino y sacrilego de la técnica del fuego”. Por otra parte, la serie de trabajos de Hércules, en tanto relato mitológico, conviene que se contemple en su marco conceptual, como señala Sánchez Jiménez (2006: 264): “la mitología griega, entendida como sistema, nos ofrece con los trabajos de Heracles un ejemplo más de concentración armoniosa de historias, en un tiempo simples y deshilvanadas, en estructuras donde dialogan entre sí, y se ofrecen a nuestros ojos, personajes diversos y paisajes lejanos que se integran armoniosamente en relatos de entidad cada vez superior, y que permiten, en definitiva, hablar de una y no de diversas mitologías, y en nuestro caso particular, considerar a Heracles como *posesión común de toda la raza helénica*.”

De la serie de trabajos que Hércules debe hacer a satisfacción de Euristeo, son dos los que interesa resaltar: el segundo, por el que debe acabar con la Hidra de Lerna; y el quinto, por el que se le encarga limpiar los establos de Augías en un solo día. Además de estos trabajos se considera también una de las acciones más importantes del final de la obra herculina: el combate con el dios-río Aqueloo, a quien el propio Homero considera superior a todos los dioses de los ríos, de todo el agua dulce. Esta selección podría parecer arbitraria o incomprensible desde el enfoque habitual sobre esta temática de los estudios filológicos, mitográficos, históricos, literarios o antropológicos. Sin embargo, los tres episodios seleccionados comparten el protagonismo, además del de Hércules, de dominios hidrológicos reales del Peloponeso, del escenario doméstico herculino. Son episodios mitológicos vinculados muy estrechamente al agua, respectivamente: al Lago Lerna, a los valles de los ríos Alfeo (en donde se encuentra Olimpia) y Peneo; y al serpenteante y caudaloso río Aqueloo.

En lo ya expuesto se manifiestan las hipótesis de la presente investigación: que la etapa de preformación de la cultura técnica o ingenieril (de intervenciones sobre la naturaleza) reproduce un conflicto entre la técnica y la religión; que el relato mitológico de Hércules puede entenderse como un proceso cultural colectivo que nos habla de esta etapa (la Grecia arcaica y

pre-arcaica) y estos conflictos; y que el relato sobre el héroe contiene diversas referencias valiosas a diferentes técnicas de la ingeniería del agua, como son el drenaje, el saneamiento mediante el uso del agua, las canalizaciones o la regulación hidrológica. Así, se entiende que la mitología de Hércules puede considerarse como una fuente documental para identificar etapas tempranas (durante la Grecia arcaica) de desarrollo de la técnica e ingeniería del agua en la cuenca mediterránea.

La relación de Hércules con el agua aparece tratada en casos puntuales como: “Heracles and hydraulics” de Luce (2006) o el capítulo “El sometimiento de las aguas: ingeniería hidráulica y sacrilegio” de Montero (2012). En este último se señala algo muy importante, y es que “las fuentes antiguas interpretaban ya racionalísticamente la lucha de Hércules contra Hydra como un deseo de canalizar una incontenible masa de agua, de múltiples emisarios, que devastaba la ciudad de Lerna” (Montero, 2012: 95). Esto significa que la mitología herculina, desde su procedencia en fuentes antiguas, ha venido acompañada de un relato más racional, que permite sugerir la presencia dilatada de una componente proto-ingenieril en algunas de las acciones del héroe (en representación de la cultura colectiva). Este carácter multicapa del relato es el que nos permite disponer de un punto de partida metodológico para el análisis y recomposición rigurosa (desde una perspectiva tecnológica e ingenieril) de los procesos técnicos que están dentro de las ‘acciones hidráulicas’ de Hércules.

Una de las más importantes referencias documentales (puente) para esta reconstrucción del proceso técnico puede ser la poco conocida obra de Enrique Villena, del siglo XV: *Los doce trabajos de Hércules*. La obra de Villena, escrita hacia 1417, está muy influenciada por textos humanistas italianos (cfr. Cátedra y Cherchi, 2007). Lo relevante es la escritura en ‘capas’, que describe el autor: “por la manera que los historiales y poetas los han puesto; y después la exposición alegórica; y luego, la verdad de aquella historia según realmente aconteció” Villena, [1417] (2007). Lo que más importa aquí es esa capa de la ‘verdad de aquella historia’ que en el siglo XV está poniendo de manifiesto una pulsión racionalista de la tareas hercúleas, en términos de un relato propio de la filosofía natural, que empezaría a ser ya de corte pos-medieval cuando no renacentista. El soporte documental para el análisis, que no se agota con Villena, se amplía también a los soportes iconográficos. Por ejemplo, para el estudio de las intervenciones hidroingenieriles de Hércules se tendrán en cuenta aportaciones pictóricas como la serie de Zurbarán de 1634: *Hércules lucha contra la hidra de Lerna* y *Hércules desvía el curso del río Alfeo*.

En todo caso, el objeto del presente trabajo es la reconstrucción hipotética y plausible del marco de conocimientos teóricos y prácticos de los griegos arcaicos en lo que serían sus técnicas ingenieriles del agua en operaciones de saneamiento de cuencas (hidra de Lerna); saneamientos y derivaciones de cursos fluviales (establos de Augias); y represamiento y canalización fluvial (dios-río Aqueloo). Se trata de la reconstrucción de una capa legible de un relato de base racional de las técnicas hidráulicas de la Grecia arcaica, y por tanto de una oportunidad para repensar el origen de la actual ingeniería del agua.

REFERENCIAS

- Cátedra, P.M., Cherchi, P. (eds.) 2007. Los doce trabajos de Hercules (1483) de Enrique de Villena y Estudio. Universidad de Cantabria, Santander
- Luce, J.V. 2006. Heracles and Hydraulics. *Hermathena* 181, 25-40
- Montero Herrero, S. 2012. El sometimiento de las aguas: ingeniería hidráulica y sacrilegio. In: *El emperador y los ríos: Religión, Ingeniería y Política*. UNED, Madrid, 91-149
- Sánchez Jiménez, F. 2006. Esfuerzo y superación: los doce trabajos de Heracles y la perspectiva heroica de la vida en la Grecia arcaica. *Baetica, Estudios de Arte, Geografía e Historia* 28, 259-272

Método híbrido para construir hidrogramas de diseño con datos de caudal de pico y volumen

Arganis Juárez, M.L.^a, De Luna Cruz, F.^a y Preciado Jiménez, M.^b

^a Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería y Facultad de Ingeniería Av Universidad 3000 Col. Copilco C.P. 04510 Cdmx, México. E-mail: ^{a1}MArganisJ@iingen.unam.mx, fluc@pumas.iingen.unam.mx ^bInstituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnahuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550 Jiutepec, Mor. E-mail:preciado@tlaloc.imta.mx

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Introducción

La obtención y actualización de avenidas de diseño es de utilidad para el diseño y revisión del funcionamiento hidráulico de una obra de aprovechamiento o de control de avenidas; existen distintos estudios en los que se utilizan métodos univariados y bivariados para la determinación del gasto de pico de diseño, y para obtener el volumen de diseño (método del Instituto de Ingeniería (Domínguez y Arganis, 2012), método de Ramírez y Aldama (Ramírez y Aldama (2000)) ; por otra parte existen algunos procedimientos para darle forma al hidrograma de diseño (bloques alternos, hidrogramas hermitianos, uso de la forma de la función de distribución de probabilidades tipo Pearson, etc., orden espectral). En este estudio se plantea un método que combina el uso del método bivariado para obtener el gasto de pico y el volumen de diseño de una avenida y el método del Instituto de Ingeniería con bloques alternos para dar la forma de la avenida, añadiendo la normalización y el uso de factores para conservar el gasto de pico y el volumen de diseño obtenidos con el análisis bivariado. Se aplicó el procedimiento para las avenidas de diseño de 100 y 10000 años de periodo de retorno de los ingresos por de la cuenca total a la presa “El Infiernillo”, Mich. (Figura 1).



Figura 1 | Presa “El Infiernillo, Mich., México.

Metodología

El método híbrido propuesto consiste en obtener un gasto de pico y volumen de diseño para cierto periodo de retorno a partir del análisis bivariado de los gastos de pico y volúmenes de las avenidas históricas máximas anuales de ingreso registradas para la presa “El Infiernillo, Mich., México; para ello se consideró un tiempo base de 15 días (tomando en cuenta un estudio realizado previamente) Se consideró el modelo logístico bivariado para dar forma a la función de distribución que fue de tipo Doble Gumbel bivariada, tomando en cuenta funciones marginales Doble Gumbel para los datos de gasto de pico y volumen. Los 11 parámetros de la función bivariada se determinaron con ayuda de algoritmos genéticos; con la función de distribución

bivariada se fijaron valores del gasto de pico de diseño para calcular el volumen de diseño, usando el concepto de periodo de retorno conjunto; para dar forma a la avenida de diseño se utilizó el hidrograma que resulta con el método de bloques alternos al aplicar el método del Instituto de Ingeniería; dicho hidrograma fue normalizado con respecto al gasto de pico de diseño que dio este método y posteriormente el hidrograma normalizado se multiplicó por el gasto de pico obtenido con el análisis bivariado; se revisó el volumen de la nueva avenida obtenida y al resultar distinto al volumen de la avenida obtenida con el análisis bivariado se optó por aplicar optimización con la herramienta Solver® de Excel® para obtener factores que afectaran a las ordenadas del hidrograma antes obtenido, a excepción del dato de la ordenada del gasto de pico cuyo factor se dejó igual a la unidad; con lo anterior se logra un hidrograma con forma similar al comportamiento histórico y preservando el gasto de pico y volumen de diseño bivariado.

Aplicación y conclusión

En la Figura 2 se presenta el hidrograma procedente del método del Instituto de Ingeniería (a), el hidrograma que sólo conserva el gasto de pico bivariado (b) y el hidrograma que logra preservar el gasto de pico y el volumen bivariado, así como el tiempo base de las avenidas históricas(c). Se aprecia un menor gasto de pico y volumen en el caso bivariado, pero se debe tomar en cuenta que con este procedimiento se cuenta con varias parejas de gasto de pico y volumen que satisfacen a la función de distribución para un mismo periodo de retorno.

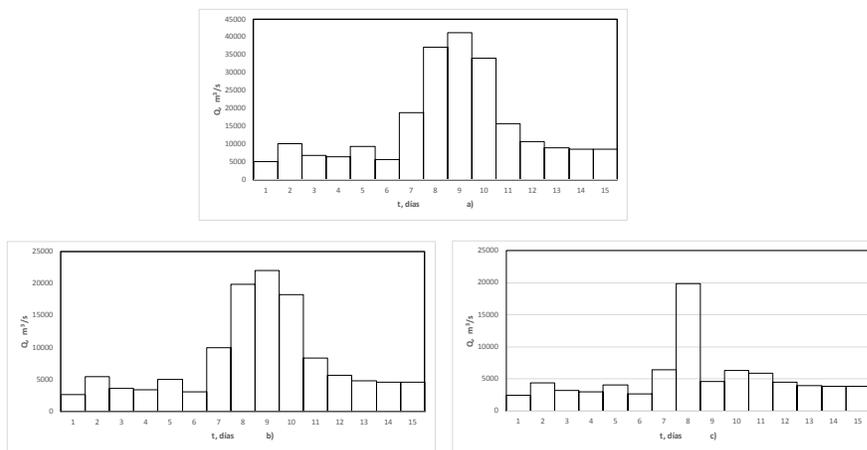


Figura 2 | Hidrograma de diseño para $T_r=10,000$ con método híbrido, Presa "El Inifernillo", Mich., México

REFERENCIAS

- Domínguez-Mora, R., Arganis-Juárez, M.L. 2012. Validation of methods to estimate design discharge flow rates for dam spillways with large regulating capacity. *Hydrological Sciences Journal* 57 (3), 1–19
- Ramírez, A.I., Aldama, A.A. 2000. *Análisis de frecuencias conjunto para la estimación de avenidas de diseño*. AMH, IMTA, Morelos, México
- Fuentes-Mariles, O.A, Domínguez-Mora, R., Arganis-Juárez, M.L., Herrera-Alanís, J.L., Carrizosa-Elizondo, E., Sánchez-Cruz, J.A. 2015. Estimate of design hydrographs for the Angostura dam, Sonora, using statistical and spectral methods. *Water Resources Management* 29, 4021–4043

Error y Sensibilidad de los Modelos 2D aplicados a Cauces Fluviales

Batanero Akerman, P.^a, Martínez González, I.^b, Martínez, E.^c

^aTécnicas del Medio Ambiente y del Agua, S.A., C/ Rodríguez San Pedro 42. 28015 Madrid, paloma.batanero@gmail.com, ^bIngeniería y Economía del Transporte, Paseo de la Habana, 138. 28036 Madrid. e-mail: ignacio.martinez@ineco.com, ^cE.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. C/ Profesor Aranguren 3. 28040 Madrid. e-mail: eduardo_mtz@outlook.com

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

En los últimos 8 años, los modelos hidráulicos bidimensionales han ganado mucho terreno a los modelos tradicionales de secciones y tránsitos. Las mejoras en hardware y software están posibilitando un cambio de tendencia en los estudios fluviales. Su gran ventaja es que permiten simular el movimiento del agua no sólo en la dirección principal, sino también en cualquier otra distinta a la del eje del cauce.

Al principio se elegían sólo en el caso de modelos más complejos, para los cuales los modelos unidimensionales no resultaban suficientemente precisos, como por ejemplo estructuras hidráulicas singulares, uniones de cauces o simulaciones de inundación de avenidas extremas.

Sin embargo, hoy en día constituyen el modelo de elección para muchos ingenieros, por su flexibilidad y rapidez a la hora de preparar una simulación, siempre y cuando los datos topográficos tengan la suficiente precisión.

El modelizador sabe que para obtener una mejor precisión en sus cálculos, ha de ampliar el número de elementos de la malla bidimensional, reduciendo su tamaño, pero esto afectará a la velocidad, ya que muchos más elementos resultarán en un tiempo de simulación más largo. Se aconseja realizar varias simulaciones de sensibilidad para obtener el número óptimo de elementos para el tramo estudiado, pero rara vez se dispone del tiempo necesario para ello. Nuestra motivación ha sido proporcionar una guía objetiva en la elección el tamaño de elemento óptimo, cuantificando y limitando el error cometido.

Cálculos realizados

El estudio de precisión espacial de la malla bidimensional se llevó a cabo mediante el análisis de los resultados obtenidos en 26 simulaciones de tránsito del mismo tramo de 30 km de longitud del río Esla, contrastando la exactitud de los caudales en diversas secciones de control (con sección media de 50 m) en función de la densidad de elementos 2D empleada. En cada una de las simulaciones se ha determinado el error cometido en los cálculos de laminación, y por tanto su precisión, relacionándola con los tamaños de malla de los elementos 2D y la anchura del cauce de aguas bajas, obteniendo unos ábacos con los tamaños de elemento de malla recomendados. A fin de objetivar los criterios de precisión y tiempo de simulación, se tomó el modelo con mayor número de elementos como el de contraste.

Los tamaños de malla empleados en el cauce variaron entre 5 y 600 m², considerando dos situaciones: con definición mediante líneas de rotura del cauce de aguas bajas o sin ella. Dos de los mallados se construyeron además con la herramienta de mallado inteligente, obteniéndose interesantes conclusiones.

La laminación porcentual del cauce se ha calculado como:

$$L (\%) = (Q_{pE} - Q_{pS}) / Q_{pE} \quad (1)$$

considerando el error en la laminación del cauce como la diferencia entre la obtenida y la del modelo de contraste.

Conclusiones

De los ensayos realizados en cauce natural para analizar la influencia del tamaño de los elementos 2D en los resultados de laminación, se han obtenido las siguientes conclusiones y gráficas:

- El tiempo de cálculo es directamente proporcional el nº de elementos 2D de los modelos.
- La precisión de los resultados es muy buena; incluso en modelos con poca densidad de elementos y sin líneas de definición de cauce de aguas bajas, el error de laminación no llega al 1%.
- Se ha relacionado la precisión del modelo con el número de elementos 2D en la sección de aguas bajas; a partir de 9-10 triángulos, la precisión no mejora.
- La existencia de líneas de definición del cauce de aguas bajas del tránsito reduce el error de laminación.
- La herramienta de mallado sensible al terreno (mallado inteligente) no supone una ventaja respecto a las líneas de rotura de delimitación del cauce.

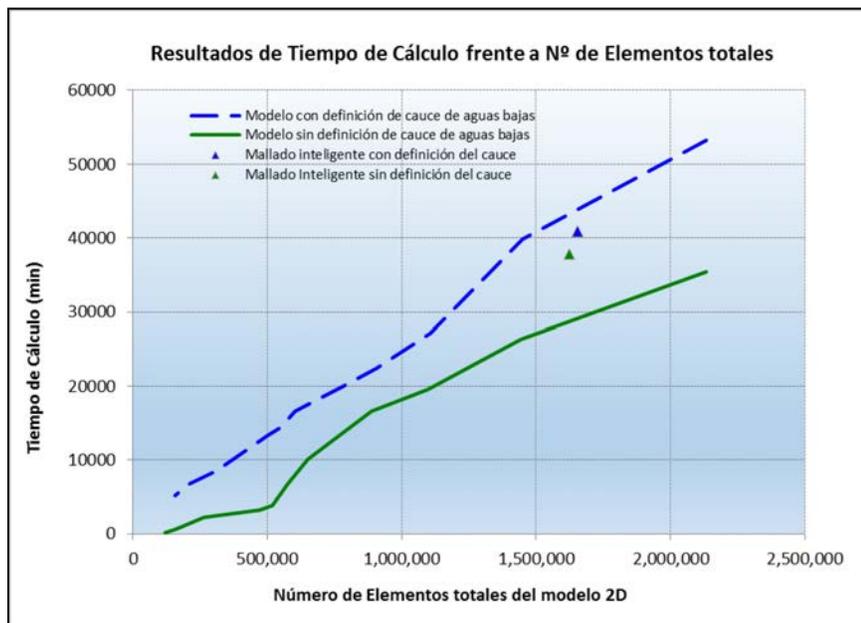


Figura 1 | Relación entre tiempo de cálculo de los modelos de sensibilidad y el nº total de elementos 2D.

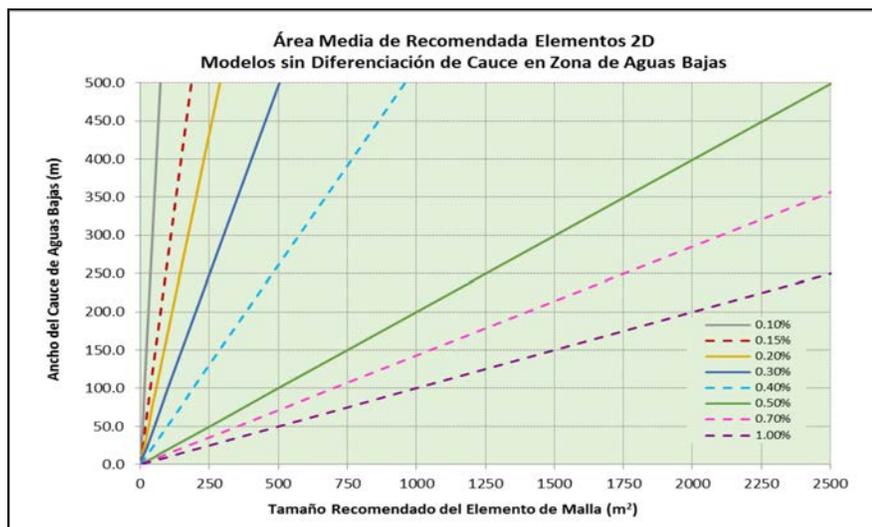


Figura 2 | Ábaco 1, área media recomendada de elementos 2D según anchura del cauce en modelos sin diferenciación de cauce

Actualización de los modelos lluvia-escorrentía de parámetros distribuidos para las cuencas Chicoasén y Peñitas en el sureste mexicano.

Becerril, M.^a, Labrada, P.^b, Domínguez, R.^c, Carrizosa, E.^d y Esquivel, G.^e

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, C.U., Ciudad de México, C.P. 04510, México. E-mail ^aMBecerrilO@iingen.unam.mx, ^bPlabradaM@iingen.unam.mx, ^cRDominguezM@iingen.unam.mx, ^dECarrizosaE@iingen.unam.mx, ^eGESquivelG@iingen.unam.mx.

Línea temática | Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

La relación entre lluvias y escurrimientos es utilizada para el diseño de obras hidráulicas, pronósticos de volúmenes de escurrimiento, así como para prevenir y alertar a la población en caso de ser necesario.

El río Grijalva es el segundo más caudaloso de México; sobre el cauce de este se encuentra el sistema de presas hidroeléctricas del río Grijalva, el cual está conformado por las presas Belisario Domínguez (Angostura), Manuel Moreno Torres (Chicoasén), Netzahualcóyotl (Malpaso) y Ángel Albino Corzo (Peñitas). Su aportación media anual hasta el sitio de la presa Ángel Albino Corzo “Peñitas” es de 22 840 Mm³. Este sistema de presas genera alrededor del 25% del total de la energía hidroeléctrica de México y además, tiene como función el actuar como regulador de los volúmenes provenientes de las avenidas extraordinarias que se generan en los estados de Chiapas y Tabasco. Las presas “Chicoasén” y “Peñitas”, están ubicadas en el estado de Chiapas y Tabasco, respectivamente, en el sureste mexicano.

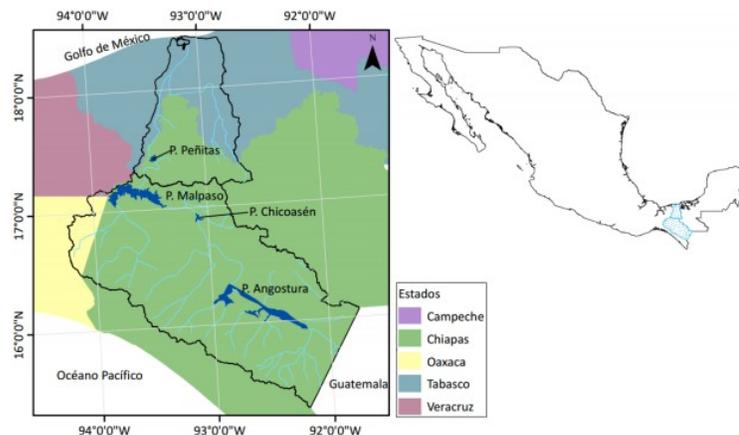


Figura 1 | Localización del sistema hidroeléctrico del río Grijalva.

En los meses de octubre y noviembre de 2007, se presentaron lluvias extraordinarias que alcanzaron los 1000 mm. durante 3 días, lo que provocó que la presa Peñitas desfogará, así como un deslizamiento de un talud sobre el cauce del río Grijalva entre las presas Malpaso y Peñitas, ocasionando una obstrucción total sobre el cauce del río y por lo tanto un cambio en la morfología de la cuenca; aunado a esto, los recientes cambios como el crecimiento de la población, la disminución de la cobertura vegetal, cambios en los usos de suelo y eventos meteorológicos extraordinarios, hicieron necesaria la actualización del modelo lluvia-escorrentía para las cuencas de las presas “Chicoasén” y “Peñitas”; esta actualización permite un mejor pronóstico de los volúmenes provenientes de avenidas extraordinarias que permitirán tomar medidas de seguridad tanto en la operación de dicha presa, como para la protección de la población.

El objetivo de este trabajo fue la determinación de los hidrogramas de escurrimiento a partir de datos de precipitación calibrando los parámetros de las cuencas Chicoasén y Peñitas, mediante un modelo lluvia-escorrentía de parámetros distribuidos, que permite pronosticar los volúmenes de las avenidas hacia las presas Chicoasén y Peñitas. Los modelos distribuidos consideran la

variabilidad espacial de las propiedades físicas de la cuenca y de la precipitación, al dividir la cuenca en micro cuencas o celdas simulando los procesos físicos que ocurren en cada elemento, tales como la infiltración, el escurrimiento sobre la superficie del terreno, el flujo de corrientes, etc. Con ayuda de un Sistema de Información Geográfica se divide la cuenca asignándole a cada una de ellas parámetros y factores uniformes (uso de suelo, tipo de suelo, vegetación, pendiente, etc.).

Para ello se utilizó el Modelo de Pronóstico de Escurrimiento (MPE) desarrollado en el Instituto de Ingeniería en México. El MPE trabaja con la información de las lluvias presentadas en las estaciones pluviográficas instaladas en la cuenca en estudio así como con los parámetros fisiográficos de la cuenca. El modelo es capaz de obtener: la precipitación media en la cuenca, el hietograma, la lluvia en exceso, las pérdidas y el hidrograma a la salida de la cuenca.

Para la actualización del modelo lluvia-escurrimiento, fue necesario calibrar los parámetros de pérdidas y forma en el MPE. Los parámetros de pérdidas son los que intervienen en la producción del escurrimiento: factor de escala de pérdida inicial (I), factor de escala de retención potencial (f_s) y el factor de olvido (f_x). Los parámetros de forma son los que intervienen en el traslado del escurrimiento y además le dan forma al hidrograma: tiempo de concentración (T_c) y coeficiente de almacenamiento (K).

Para actualizar los parámetros del modelo se utilizaron las tormentas más representativas del año 2009 al 2015.

Con los parámetros de la cuenca obtenidos en este estudio se pueden pronosticar las crecientes a partir de los datos de tormentas que se presenten en las cuencas.

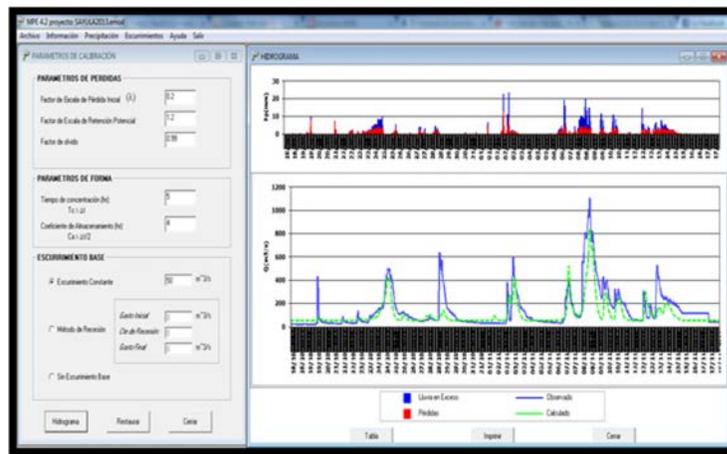


Figura 2. Hidrograma de escurrimiento final para la cuenca Peñitas.

REFERENCIAS

Domínguez. M. R., Esquivel G. G., Baldemar M. A., Mendoza R. A., Arganis J. M. L. (2008). "Manual del Modelo Pronóstico de Escurrimiento", *Serie del Instituto de Ingeniería, UNAM*.

Evaluación y clasificación de efectos de fugas en la red de abastecimiento de Moratalla (Murcia) para la priorización del mantenimiento de tuberías.

Casanova A.^{a1}, Viguera-Rodríguez A.^{a2}, García J.T.^{a3} y Castillo L.G.^{a3}

^aGrupo de I+D+i en Ingeniería Hidráulica, Marítima y Medioambiental (Hidr@m), Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII 52. E-mail: ^{a1}casanovagonzalez.a@gmail.com, ^{a2}aviguera.rodriguez@upct.es, ^{a3}juan.gbermejo@upct.es, ^{a4}luis.castillo@upct.es

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Uno de los aspectos más relevantes en la gestión de riesgos es la evaluación del efecto que puede ocasionar cada uno de los posibles fallos de un sistema. En sistemas de abastecimiento de agua, la mayoría de los fallos provienen de fugas en las tuberías. Gran parte de estas fugas pueden ser modeladas a modo de un orificio en la propia tubería (Van Zyl y Clayton, 2007).

En este trabajo, se ha modelizado una fuga en cada una de las más de 300 tuberías de la red de abastecimiento de agua relativa al municipio de Moratalla. Para ello, se ha definido un “orificio tipo” de fuga cuyo diámetro se ha establecido como 1/10 el diámetro de la tubería afectada.

Para implementar y llevar a cabo todas las simulaciones de fuga en cada una de las tuberías de la red gracias a la ayuda de la programación bajo la librería Epanet-Octave. Epanet-Octave es una librería dinámica que permite emplear la librería de Epanet ToolKit desde el entorno GNU Octave. El hecho de poder trabajar desde GNU Octave permite emplear operaciones con matrices y vectores para mejorar el uso e incrementar las posibilidades de Epanet, simplificando enormemente tanto el cálculo computacional de cada caso como su análisis.

Cada simulación está constituida por un intervalo temporal de una semana “tipo” con sus demandas y consumos, donde además se reproducen los efectos producidos por la fuga en las distintas presiones y demandas que tienen lugar a lo largo del día. Usualmente las fugas son evaluadas en pérdidas de energía para bombear el agua. (Colombo y Karney, 2002; Sahely et al. 2005; Ghorbanian et al. 2017). En este trabajo, se ha empleado un índice que se permita dar un peso a los diversos efectos negativos ocasionados por dichas fugas. El índice propuesto tiene en cuenta tres factores: caudales de fugas, la posible afección en la calidad del agua y la afección al mantenimiento de las condiciones mínimas de presión en el servicio.

El índice de caudal de fuga está constituido por el índice de caudal de fuga máximo (en tiempo) y su valor medio, el cual, en este caso, es proporcional al coste de energía empleado en otros trabajos, correspondiente en esta red, a los sistemas encargados de elevar el agua hasta los depósitos desde los que circula hasta los nodos de consumo mediante gravedad. Este factor también trataría de contabilizar el impacto económico, energético y ambiental de las pérdidas de dichos caudales de agua potable.

Por otro lado, la afección en la calidad de agua es evaluada mediante la presencia de presiones negativas en zonas de la red aguas arriba del orificio o en las cercanías del mismo, provocadas por el aumento de las pérdidas de carga debidas al caudal de fuga. Las presiones negativas en tubería enterradas pueden conducir a la aspiración de contaminantes perjudicando la calidad del agua (Fox et al. 2015).

Finalmente, la afección en el servicio es evaluada a través de la suma de todo el caudal de agua que deja de ser suministrado, o bien, que es suministrado por debajo de la presión mínima reglamentaria.

Este índice ponderado a partir de estos tres factores se ha representado en la figura 1, donde los valores más altos se corresponderían a las tuberías con peores efectos sobre la red en el caso de que sufriesen una fuga.

Este índice puede ser usado conjuntamente con otros factores no-hidráulicos como la edad de la tubería o el material de la misma (por ej. fibrocemento con asbestos), de cara a priorizar el mantenimiento y el eventual reemplazamiento de las tuberías de la red de abastecimiento acorde con la estrategia de gestión de riesgo.

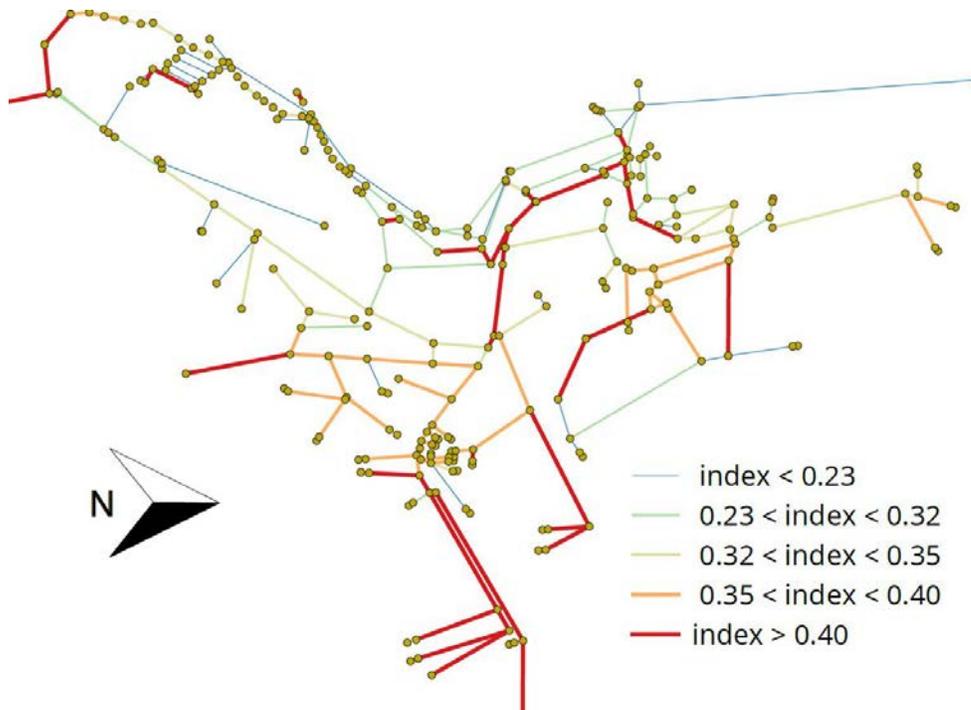


Figura 1 | Distribución del índice del efecto fuga en la red de abastecimiento de Moratalla.

Con el objeto de conseguir un índice con la mayor fiabilidad posible, en la actualidad se están estableciendo “orificios tipo” dependiendo del material, e introduciendo en el índice los factores no hidráulicos.

REFERENCIAS

- Van Zyl, J. E., & Clayton, C. R. I. 2007. The effect of pressure on leakage in water distribution systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (Vol. 160, No. 2, pp. 109-114). Thomas Telford Ltd.
- Colombo, A. F., & Karney, B. W. 2002. Energy and costs of leaky pipes: toward comprehensive picture. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128(6), 441-450.
- Sahely, H. R., Kennedy, C. A., & Adams, B. J. 2005. Developing sustainability criteria for urban infrastructure systems. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32(1), 72-85.
- Ghorbanian, V., Karney, B., & Guo, Y. (2017). Intrinsic relationship between energy consumption, pressure, and leakage in water distribution systems. *Urban Water Journal*, 14(5), 515-521.
- Fox, S., Shepherd, W., Collins, R., & Boxall, J. (2015). Experimental quantification of contaminant ingress into a buried leaking pipe during transient events. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(1), 04015036.

Desarrollo de una metodología de desagregación manual de usos finales del agua basada en la identificación de los días representativos

S. Castilla^a, F. Arregui^{*b}, R. Cobacho^{*c} y L. Pastor^{*d}

^aDto. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, sancasdi@posgrado.upv.es,

[†]ITA-Grupo de Ingeniería y Tecnología del Agua, Dpto. de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, València 46022, ^bfarregui@ita.upv.es ^crcobacho@ita.upv.es ^dlaupasja@ita.upv.es

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

El consumo de agua por parte de los usuarios debe acercarse a estándares eficientes. Para lograr este avance es necesario conocer el comportamiento actual que muestran los mismos con el propósito de fijar los objetivos a alcanzar, así como establecer las políticas de gestión de la demanda para equilibrar las necesidades de agua de la población y los recursos hídricos disponibles.

La realización de análisis de los microcomponentes de la demanda es de gran utilidad de forma directa para los propios usuarios. La característica más destacable es que forman una base precisa y robusta fundamental para la elaboración de modelos de predicción de la demanda, unido a una serie de acciones como son la realización de encuestas sociodemográficas, así como un inventario de los dispositivos que utilizan agua para su funcionamiento dentro de cada vivienda (Makki et al., 2015). Asimismo los resultados arrojan información sobre cómo mejorar la eficiencia en su domicilio con el fin de ser capaces de autogestionar su consumo, generando un aumento de concienciación en la sociedad. Como consecuencia de la necesidad de la realización de estudios previos en el ámbito del análisis de usos finales surgió la incorporación y posterior crecimiento de la tecnología inteligente aplicada a los equipos de medición. Ello está propiciando una renovación del parque de contadores en la que se introduzca la medición inteligente, ya que el nivel actual no es el adecuado para poder desarrollar estudios en cuanto al análisis de usos finales de agua (Stewart et al., 2010).

El presente estudio desarrollado en la ciudad de Valencia es uno de los tres casos de aplicación del proyecto europeo Smart H2O, en el cuál es participe el Grupo Aguas de Valencia y que, ha hecho posible su realización a través de su Cátedra en la Universitat Politècnica de València. Para poder llevar a cabo el estudio del comportamiento de los usuarios se han recabado datos de consumo en 74 viviendas residenciales mediante una monitorización de alta resolución, capaz de tomar registros cada 0.1 litros. Los datos empleados en la realización de este trabajo corresponden al período que se extiende desde finales de Septiembre de 2016 hasta principios de Febrero de 2017.

Se han realizado escasos estudios a escala mundial sobre dicha temática que quedan recabados en Beal y Stewart (2011), ya que realizar un estudio de desagregación de usos finales lleva asociado consigo efectuar un trabajo costoso y de lenta ejecución (Nguyen et al., 2013). Con el fin de resolver el mencionado inconveniente, se ha desarrollado una metodología con la que se logra identificar los días de la semana más representativos entre todos los registros del período de monitorización. Con esta aportación se consigue realizar el estudio de usos finales de la muestra de una manera razonable, haciendo factible la realización de este tipo de estudios. Los días seleccionados para cada campaña de medición se encuentran relacionados con las características de los eventos de consumo que se han registrado durante ese período. Los resultados obtenidos por medio de la desagregación de usos finales equivalen a los de toda la muestra con un margen de error mínimo. Los porcentajes de los seis usos finales principales clasificados (grifo, ducha, cisterna, lavadora, lavavajillas y fugas interiores) equivalen a todo el período de monitorización, dotando de una gran fiabilidad de los resultados obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se agradece al Grupo Aguas de Valencia, cuya Cátedra en la Universitat Politècnica de València ha financiado a través de una beca de colaboración en el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente el desarrollo de este estudio.

REFERENCIAS

- Beal, C., Stewart, R.A. 2011. South East Queensland Residential End Use Study: Final Report. , (47), pp.1–174. Available at: <http://www98.griffith.edu.au/dspace/handle/10072/46802>.
- Makkia, AA., Stewart, RA., Beal, CD., Panuwatwanicha, K. 2015. Novel bottom-up urban water demand forecasting model: Revealing the determinants, drivers and predictors of residential indoor end-use consumption. *Resources, Conservation and Recycling*, 95, pp.15–37. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.009>.
- Nguyen, K.A., Stewart, R.A., Zhang, H. 2013. Environmental Modelling & Software An intelligent pattern recognition model to automate the categorisation of residential water end-use events. *Environmental Modelling and Software*, 47, pp.108–127. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.05.002>.
- Stewart, RA., Willis, R., Giurco, D., Panuwatwanich, K., Capati, G. 2010. Web-based knowledge management system: linking smart metering to the future of urban water planning. *Australian Planner*, 47(2), pp.66–74. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/07293681003767769>.

Espaciamiento de drenes subterráneos en regiones húmedas y subhúmedas

Coras M., P. M.¹; Reyes R., A.¹; Diakité D., L.¹; Sánchez A., Ma. M.¹; Arteaga T., E.¹

¹Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, c.p. 56230 Chapingo, Edo. de México. Email: mpcoras@gmail.com, areyes@correo.chapingo.mx, mastello83@hotmail.com

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Introducción

En la última década la frecuencia de impactos y desastres naturales en México ha aumentado, debido a la ubicación geográfica, vulnerable a los fenómenos hidrometeorológicos. En el estado de Tabasco el frente frío cuatro y la tormenta tropical Noe, ocasionaron daños y pérdidas por 3,100 millones de dólares. (CENAPRED, 2013). En el municipio de Macuspana, motivo del estudio, la confluencia de ondas tropicales y aire húmedo proveniente de ambos océanos, generan intensas lluvias causando inundaciones con altos costos sociales y económicos, anegando los suelos agrícolas y afectando la producción agrícola y pecuaria. (SEDESOL, 2010). Por lo anterior, considerando las pérdidas económicas en los últimos años por inundaciones superficiales y presencia de niveles freáticos en terrenos agrícolas sembrados de maíz, chile verde, frijol y pasto; y para asegurar la aireación del suelo, absorción de agua y nutrientes por el sistema radicular, como solución, se plantean los siguientes objetivos, analizar lluvias con funciones de distribución de valores extremos, encontrar las lluvias críticas para estimar las escorrentías superficiales y los espaciamientos de drenes laterales parcelarios subterráneos, aplicando la ecuación de régimen transitorio para abatir los niveles freáticos del perfil de los suelos.

Materiales y métodos

Del portal digital del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se obtuvieron las precipitaciones diarias de seis estaciones meteorológicas de 25 años (1988-2012) ubicadas en el Municipio de Macuspana Edo. de Tabasco, para generar lluvias faltantes de las series, se aplicó el método U.S. National Weather Service (WS) (ASCE), 1996. En la agrupación de las lluvias de 2, 3, 4 y 5 días consecutivos se aplicó promedios móviles (Keesler, 1978), analizando con la función de distribución Gumbel Doble (Gómez, et. al, 2010 y Aparicio, 2006). Se comprobó su ajuste con las pruebas de Kolmogorov Smirnov y Error Estándar (Chow, 1994). Se elaboraron las curvas Precipitación-Duración-Frecuencia (PDF) de las estaciones, obteniéndose las lluvias críticas para periodos de retorno de 10 y 20 años. Con las características del suelo se determinó la porosidad drenable (μ)=0.08 y conductividad hidráulica (κ)=0.768 m d⁻¹ y capacidad de almacenamiento de agua del suelo (Δs)=122 mm (Dieceman, 1981), se calculó los espaciamientos de drenes parcelarios con la fórmula de régimen transitorio Glover-Dumm aplicada a zonas húmedas para tuberías enterradas a 1.20 m y 1.5 m, profundidad de la capa impermeable 4 m, y considerando que el maíz y el frijol pertenecen a la clase B y el chile verde clase A. (Pizarro, 1978).

Resultados y discusiones

La figura 1 muestra las curvas de Precipitación-Duración-Frecuencia (PDF) de la estación 071410, en las abscisas los tiempos de drenaje (frijol, chile verde 8 h, maíz 24 h), al interceptar a dichas curvas para el periodo de retorno requerido, se obtuvieron las lluvias críticas, con la misma técnica se procedió en las cinco estaciones restantes.

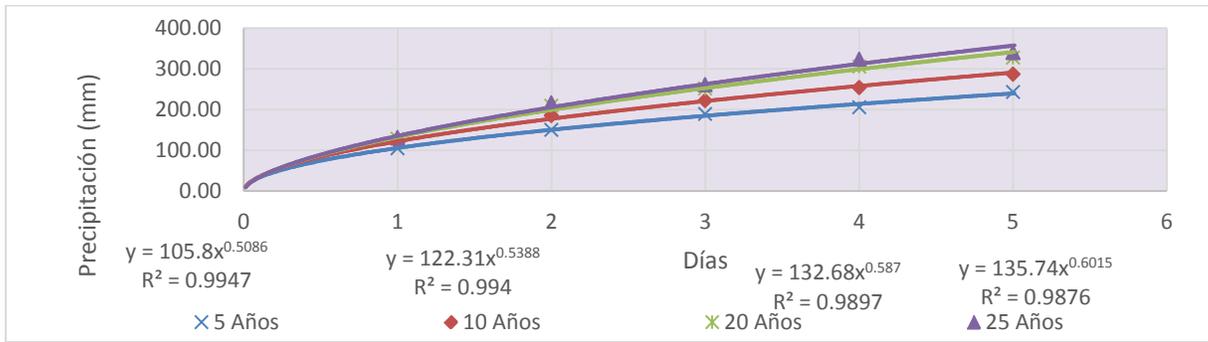


Figura 1. Lluvias críticas, estación 071410 Salto del Agua.

En la estación Tres Brazos (27050), ubicado en el norte se encontró lluvias críticas máximas para periodos de retorno de 10 y 20 años, y fueron: frijol y chile verde 157.7 mm y 169.7 mm y maíz 225.4 mm, y 256.8 mm respectivamente. Las lluvias críticas mínimas, estación Aquiles Serdán (27071), localizado en el centro del municipio siendo para frijol y chile verde, en los periodos de retorno de 10 años (43.8 mm) y 20 años (85.8 mm) y maíz 10 años (92.00 mm) y 20 años (162.3 mm).

Tabla 1. Espaciamiento entre drenes subterráneos parcelarios.

Cultivos	Prof. drenes (m)	Espaciamiento entre drenes (m)		
		Día 1	Día 2	Día 3
Maíz	1.5	15	15	15
Frijol	1.5	20	20	19
Chile verde	1.4	25	22	22

La tabla 1, muestra el producto de comparar la carga hidráulica inicial en el punto medio entre dos drenes en metros (h_o) con la altura freática (h_t). Se determinó para el día 1, no existe problema de saturación del suelo, para 2 y 3 días se propuso espaciamiento entre drenes hasta que los productos del factor de reacción (α) y tiempo (t) en días sea mayor a 0.2, asegurando el abatimiento del nivel freático hasta la profundidad permisible. Se encontró para lluvias críticas (122.3 mm) los espaciamientos entre drenes laterales paralelos fueron: maíz 15 m, frijol 19 m y lluvias críticas de 67.6 mm para chile verde 22 m. Los espaciamientos de drenes laterales paralelos reportados, son semejante a los obtenidos bajo condiciones edafológicas e hidrológicas similares en Brasil por Bernardo, et. al. ,2011.

CONCLUSIONES

Las lluvias máximas y escorrentías superficiales para periodos de 10 y 20 años se localizaron en el norte y las mínimas en el centro del municipio de estudio. Los espaciamientos de drenes subterráneos estimados abaten en tres días los niveles freáticos a profundidades por debajo del sistema radicular de los cultivos establecidos.

REFERENCIAS

Bernardo, S., Alves, S.A., Chantuni, M. (2011). Manual de Irrigacao (8va edición). Universidad Federal de Vicosa. Editorial UFV. Brasil.
 Gómez, M. J. F. et. al. (2010). Manual de análisis de frecuencias en hidrología. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Primera edición. México.
 CENAPRED, 2013. Información de actividades. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación. SEGOB. México.

Análisis de patrones espaciales de vegetación ligados a distintas teorías de optimización

del Jesus, M.^{a1}, Díez-Sierra, J.^{a1}, Rinaldo, A.^{b,c} y Rodríguez-Iturbe, I.^d

^a Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria - Avda. Isabel Torres, 15, Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, 39011, Santander, España. E-mail: ^{a1}manuel.deljesus@unican.es, ^{a2}javier.diez@unican.es. ^b Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Padova, Padua, Italy. ^c Laboratory of Ecohydrology ECHO/IIIE/ENAC, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Switzerland. E-mail: andrea.rinaldo@epfl.ch ^d Zachry Department of Civil Engineering, Texas A&M University, College Station, Texas (USA). E-mail: irodriguez@ocn.tamu.edu

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

La organización de la vegetación en las cuencas es uno de los factores que condicionan los flujos de agua y energía dentro de la cuenca. Para una correcta caracterización de la incertidumbre de los flujos hidrológicos es necesario caracterizar adecuadamente la incertidumbre generada por las dinámicas de vegetación y para ello es necesario comprender como se organiza espacialmente la vegetación en las cuencas. El presente trabajo se centra en el estudio de la distribución espacial de vegetación en cuencas a través del marco simplificado que proporcionan las teorías de optimización de la vegetación, debido a que su sencillez de aplicación las hace susceptibles de ser incluidas en aplicaciones de ingeniería hidrológica.

Distintas teorías de optimización de la vegetación (TOV, Dewar 2010, del Jesus et al. 2012, Caylor et al. 2004) se han utilizado de forma extensiva para modelar la organización espacial de tipos funcionales de vegetación en cuencas hidrográficas. Se han utilizado también para estudiar el comportamiento y sensibilidad de los patrones de vegetación a condicionantes externos tales como el clima. Las TOV proporcionan un marco conceptual útil que incorpora pocos parámetros para el análisis cuantitativo de los patrones espaciales de vegetación. La mayoría de TOV asumen que las plantas optimizan alguna función que mide la idoneidad del individuo al medio bajo las restricciones impuestas por este, lo que lleva a la dominancia de los individuos más adaptados (Dewar 1996).

Sin embargo, existen aproximaciones alternativas, basadas en principios termodinámicos, basadas en la maximización de alguna función del ecosistema en su conjunto. Bajo estas TOV la organización de la vegetación tiende a estados estacionarios dinámicamente accesibles que maximizan dicha función global, sin atender a su función de idoneidad individual. El resultado final siempre puede interpretarse como una medida de la adaptación individual, aunque la medida sería la adaptación del individuo a su medio, es decir, la dominancia sería para los individuos más resilientes (Whitfield 2007), aquellos con mayor probabilidad de dominar bajo un amplio rango de condiciones ambientales.

En este trabajo se estudia la estructura espacial de una cuenca semiárida, la cuenca del río Salado, en el centro de investigación de ecología al largo plazo de Sevilleta, en el estado de Nuevo México (EEUU), bajo el marco de cuatro TOV diferentes: máxima asimilación de carbono, máxima evapotranspiración, mínimo estrés hídrico de la vegetación y máxima evapotranspiración ponderada por el estrés. Todas las TOV están relacionadas con el uso del agua por parte de la vegetación ya que en ecosistemas semiáridos el agua suele ser el elemento limitante.

Para resolver la hidrología se hace uso de un modelo estacionario del balance hídrico, donde los principales flujos, precipitación, evapotranspiración, escorrentía y pérdidas profundas, se consideran a nivel diario, al igual que la humedad del suelo. El modelo proporciona las distribuciones estadísticas de las distintas variables, con las que se pueden calcular los valores necesarios para evaluar las diferentes TOV.

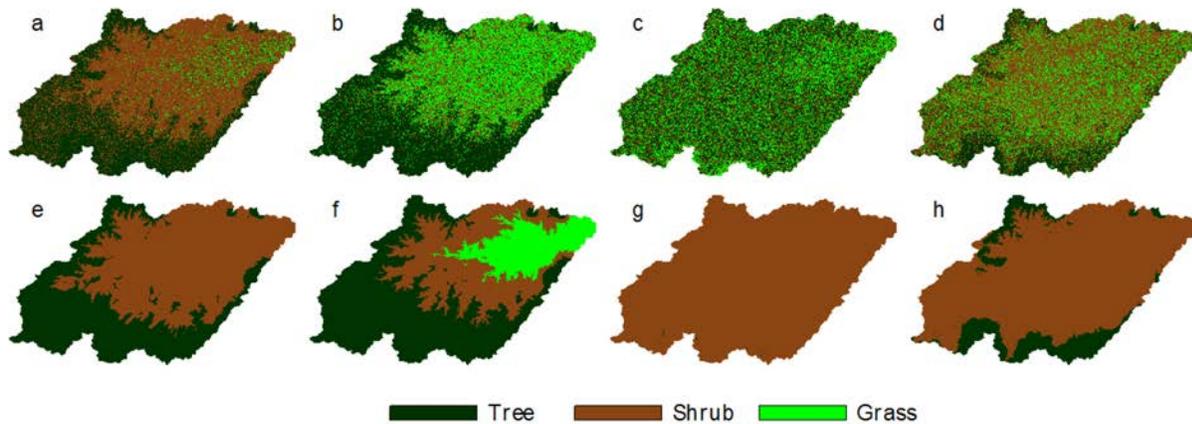


Figura 1. Estados estacionarios de la vegetación generados por “simulated annealing” (paneles del a al d) y estados fundamentales de la vegetación (paneles del e al h) para la cuenca del río Salado considerando diversas teorías de optimización de la vegetación. Paneles a y e, máxima asimilación de carbono. Paneles b y f, máxima evapotranspiración. Paneles c y g, mínimo estrés de las plantas. Paneles d y h, máxima evapotranspiración ponderada.

La optimización de cada TOV se lleva a cabo mediante “simulated annealing”, un esquema de optimización en que se proponen cambios aleatorios a una configuración inicial arbitraria hasta alcanzar un estado estacionario en que todos los estados alcanzados con sucesivos cambios son estadísticamente equivalentes. El “simulated annealing” se basa en aceptar todos los cambios que cambien la configuración hacia otra más óptima, y en aceptar aquellos que la empeoren en base a una ley de probabilidad decreciente cuanto mayor sea el empeoramiento.

En los resultados se mostrará que la TOV de máxima asimilación de carbono, que deriva del postulado de máxima producción de entropía para sistema termodinámicos en no equilibrio, es el que mejor aproxima los patrones de vegetación observados en la cuenca alta del río Salado (del Jesus et al. 2012).

REFERENCIAS

- R. Dewar. 2010. Maximum entropy production and plant optimization theories., *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 365 (1545) 1429–1435.
- M. del Jesus, R. Foti, A. Rinaldo, I. Rodriguez-Iturbe. 2012. Maximum entropy production, carbon assimilation, and the spatial organization of vegetation in river basins. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (51) 20837–20841.
- K. K. Caylor, T. M. Scanlon, I. Rodriguez-Iturbe. 2004. Feasible optimality of vegetation patterns in river basins, *Geophysical Research Letters* 31 (13) L13502.
- R. Dewar. 1996. The correlation between plant growth and intercepted radiation: an interpretation in terms of optimal plant nitrogen content, *Annals of Botany* 78 (1) 125–136.
- J. Whitfield. 2007. Survival of the likeliest?, *PLoS Biology* 5 (5) e142.

Eficiencia energética en redes de agua a presión en su fase de diseño

del Teso, R.^{a1}, Gómez, E.^{a2}, Cabrera, E.^{a3}, Estruch, E.^{a4}

^aGrupo de Ingeniería y Tecnología del Agua (ITA), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n - Edificio 5C, 46022 Valencia.
E-mail: ^{a1}rodete@ita.upv.es, ^{a2}elgosel@ita.upv.es, ^{a3}ecabrera@ita.upv.es, ^{a4}maesjua1@ita.upv.es

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Tradicionalmente tanto el diseño como la gestión de las redes de agua a presión se han basado en cumplir unos estándares de servicio con el mínimo coste de inversión posible. En la actualidad, por motivos medioambientales evidentes, la eficiencia energética en cualquier sector está a la orden del día, teniendo incluso que cumplir unos determinados ratios exigidos por normativa, por lo tanto, parece lógico tener en cuenta también la eficiencia energética en las redes de agua a presión.

En esta línea, el objetivo del presente trabajo es mostrar la importancia de un correcto diseño de las redes de agua a presión, en el que además de cumplir con unas condiciones de servicio establecidas, se tenga en cuenta la energía consumida por la red una vez ésta se ponga en servicio, tratando de minimizarla en la medida de lo posible. Para ello se tratará de reducir al máximo las ineficiencias energéticas del sistema, tales como son la energía de exceso y la energía topográfica, desde la fase de diseño.

Contabilizar y poner cifras a la energía que interviene en una red de agua es posible a través de la auditoría energética (Cabrera et al., 2010), que permitirá conocer de qué forma se distribuye la energía total aportada y consumida por el sistema. La energía aportada, natural o de eje, deberá ser igual a la consumida, que se dividirá en energía entregada a los usuarios, disipada por fricción y/o en las válvulas y energía perdida a través de fugas.

Lógicamente, interesa que la energía consumida esté representada mayoritariamente por la energía entregada a los usuarios. De este modo el resto de energías consumidas (pérdidas) serán menores. Pero además es importante atender a cómo se entrega esta energía útil, pues debe ser la mínima requerida, evitando en cualquier caso entregar más presión de la que fijan los estándares de calidad (Cabrera et al., 2015). Esta energía entregada a los usuarios tiene tres componentes:

- a) Energía mínima requerida (E_{uo}): aquella que debe suministrarse a los usuarios para cumplir con la presión de referencia y el volumen de agua demandado.
- b) Energía topográfica (E_{tr}): término energético que el sistema está obligado a entregar debido a las irregularidades del terreno. Representa la energía que se debe aportar para alcanzar, prestando el servicio adecuado, la cota del nudo crítico, afectando al resto de nudos de consumo de menor cota, ya que para que el nudo más alto tenga presión el resto de nudos del sistema tendrán sobrepresión.
- c) Energía de exceso (E_{ex}): es aquella que se suministra por encima de la energía mínima requerida en el nudo crítico y por tanto en el resto de nudos. Este exceso de energía se debe a que se suministra más altura que la mínima necesaria para garantizar en el nudo crítico la presión mínima, y por tanto debería ser eliminada.

En la fase de diseño de una red de agua a presión, tanto la energía topográfica como la energía de exceso son claves para que en la fase de funcionamiento la red pueda catalogarse como eficiente. La energía de exceso debe ser eliminada, ya que ni se necesita ni viene impuesta por causas inevitables, sino que es una sobrepresión en todos los nudos de la red, que propiciará una mayor energía perdida en fugas y al mismo tiempo mayor energía disipada por fricción. En cambio, el valor de la energía topográfica viene condicionado por el perfil del terreno, por lo que parece algo más complicado disminuir su valor, aun así se deben explorar diferentes alternativas que permitan evitar, recuperar o en última instancia disipar esta energía.

La primera alternativa que debe ser contemplada es evitarla y para ello se debe concebir un trazado que permita minimizar esta componente de la energía consumida. Si no fuera posible evitarla desde la fase de diseño, se deberá estudiar la posibilidad de recuperarla o de reducirla, con la instalación de PATs o VRPs, respectivamente. Estas dos últimas acciones están bien documentadas en la literatura. Este trabajo se centra en la primera de las acciones, la racionalización del diseño, fase crucial, pues como se ha dicho, la mayoría de los sistemas han sido diseñados de espaldas a los problemas energéticos. Para ello, se recurre a estudiar una red de referencia en la que se comparan las mejoras energéticas que se obtienen con la instalación de VRPs, frente a la mejora que supone un diseño basado en la minimización de la energía topográfica.

Muchos son los artículos publicados en los que se ha trabajado con la red propuesta en 1989 por Gemanopoulos y Jowitt, cuya finalidad ha sido, principalmente, reducir las pérdidas al máximo con la instalación de VRPs (Jowitt y Xu, 1990; Nicolini y Zovatto, 2009). Con el objetivo de cuantificar la eficiencia energética desde la fase de diseño, el presente trabajo evalúa la energía consumida por esta conocida red, proponiendo medidas con las que, además de mejorar su eficiencia, se consiguen los mismos objetivos para los que fue concebida.

Para lograr tal objetivo, en primer lugar se reduce la energía de exceso rebajando la altura de los depósitos hasta donde permite la presión de servicio requerida. Debido a la topografía de la red esta opción no proporciona grandes mejoras, por lo que se explora la opción de modificar el tipo de suministro, convirtiéndolo en un bombeo directo con BVV que permitan aportar en cada instante la energía necesaria desde las tres fuentes de suministro existentes. Con esta alternativa, se consiguen mejores resultados energéticos, pero todavía mejorables, por lo que se plantea un tercer escenario: desacoplar la red en función de las cotas de los nudos de consumo, identificándose tres grandes sectores, uno asociado a cada bomba. Para reducir al mínimo la energía topográfica del sistema, se instala una cuarta bomba encargada de abastecer únicamente a los dos nudos de cota más elevada, los cuales condicionan los resultados de energía topográfica del sistema. De este modo cada bombeo se encarga de abastecer a nudos con cotas muy similares, reduciéndose casi hasta desaparecer la energía topográfica del sistema. El problema que aparece con esta alternativa es la enorme energía disipada por fricción debida al diseño y dimensionado inicial del abastecimiento. Su solución requiere el aumento de algunos diámetros para obtener valores de energía disipada por fricción aceptables.

Este completo análisis evidencia que la mejor opción para disminuir la energía consumida por la red, hubiese sido realizar un correcto diseño de la misma, abasteciendo la red con una inyección directa a través de cuatro bombeos, con cada bomba abasteciendo a un sector definido a partir de las cotas de los nudos, de forma que se minimiza la energía topográfica y de exceso, y por consiguiente la asociada a pérdidas en fugas. El trabajo concluye con un análisis de la energía asociada a cada escenario, evidenciando el formidable ahorro que con este proceso se consigue.

REFERENCIAS

- Cabrera, E., Pardo, M. A., Cobacho, R., Cabrera Jr., E. 2010. Energy Audit of Water Networks. *Journal Water Resources Planning and Management (ASCE)*, 136(6), 669-677.
- Cabrera, E., Gómez, E., Cabrera Jr., E., Soriano, J., Espert, V. 2015. Energy Assessment of Pressurized Water Systems. *Journal Water Resources Planning and Management (ASCE)*, 141(8).
- Jowitt, P. W., Xu, C. 1990. Optimal valve control in water distribution networks. *Journal Water Resources Planning and Management (ASCE)*, 116(4), 455-472.
- Nicolini, M. y Zovatto, L. 2009. Optimal Location and Control of Pressure Reducing Valves in Water Networks. *Journal Water Resources Planning and Management (ASCE)*, 135(3): 178-187.

Análisis y modelación estocástica de la serie de precipitaciones de Igueldo (San Sebastián).

Delgado, O.^{a1}, Campo M.A.^{a2} y López J.J.^{a3}

^a Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural. Universidad Pública de Navarra, Campus de Arrosadía. 31006-Pamplona, Navarra. E-mail: ^{a1} oihadelgado@gmail.com, ^{a2} miguel.campo@unavarra.es, ^{a3} jjlr@unavarra.es.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Con frecuencia, para solucionar determinados problemas de ingeniería hidrológica, es necesario conocer valores de intensidad de lluvia que tengan una determinada probabilidad o período de retorno, T. Del estudio y análisis de las precipitaciones extremas para diversas duraciones pueden deducirse las relaciones intensidad-duración-frecuencia (IDF) que se utilizan de modo generalizado en el diseño de infraestructuras hidráulicas. La falta de series largas de intensidades de precipitación para intervalos de tiempo reducido hace que haya que acudir a expresiones matemáticas para caracterizar dichas curvas. Una forma de generarlas puede ser mediante la elaboración de series sintéticas de precipitación generadas a partir de modelos estocásticos.

Se estudia la serie de precipitación diezminutal de duración 1927-2005 registrada en el pluviógrafo de Igueldo, San Sebastián (régimen pluviométrico: muy húmedo; precipitación media anual: 1500mm). En primer lugar, se comprueba su homogeneidad y se identifican posibles tendencias crecientes o decrecientes estadísticamente significativas en la cantidad de precipitación a lo largo del periodo de estudio, observando los datos anuales como los mensuales. Después se calibran los modelos. Como modelo estocástico se ha utilizado el modelo de Barlett-Lewis modificado de pulsos rectangulares (Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1988), que se basa en la sucesión de tormentas, cada una de ellas compuesta por series de lluvia separadas por un intervalo corto de tiempo. Posteriormente, se genera la serie sintética de precipitación diezminutal que permiten elaborar las curvas IDF.

Se obtienen además las curvas IDF de la serie observada por el método de Témez (1978) utilizado en la norma 5.2 -IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras (Orden FOM/298/2016) y se comparan todas entre sí (IDF para los datos observados, IDF observadas obtenidas por el método de Témez e IDF simuladas por el modelo modificado de Barlett-Lewis. En la Figura 1 aparecen representadas dichas curvas.

Como síntesis general, a partir del análisis IDF realizado, se concluye que las curvas originadas por el método propuesto por Témez (1978) presentan un buen ajuste a partir de periodos de retorno mayores a 20 años. Para periodos menores sobrestima intensidades para duraciones entre 1 y 18 h.

Las curvas obtenidas a partir de la serie del modelo modificado de Barlett-Lewis (B-L) tienen un buen ajuste para duraciones mayores a 1 h en todos los periodos de retorno. En cambio, para duraciones menores la intensidad se ve subestimada. Esto se debe a que la calibración del modelo se ha llevado a cabo entre 1-24 horas

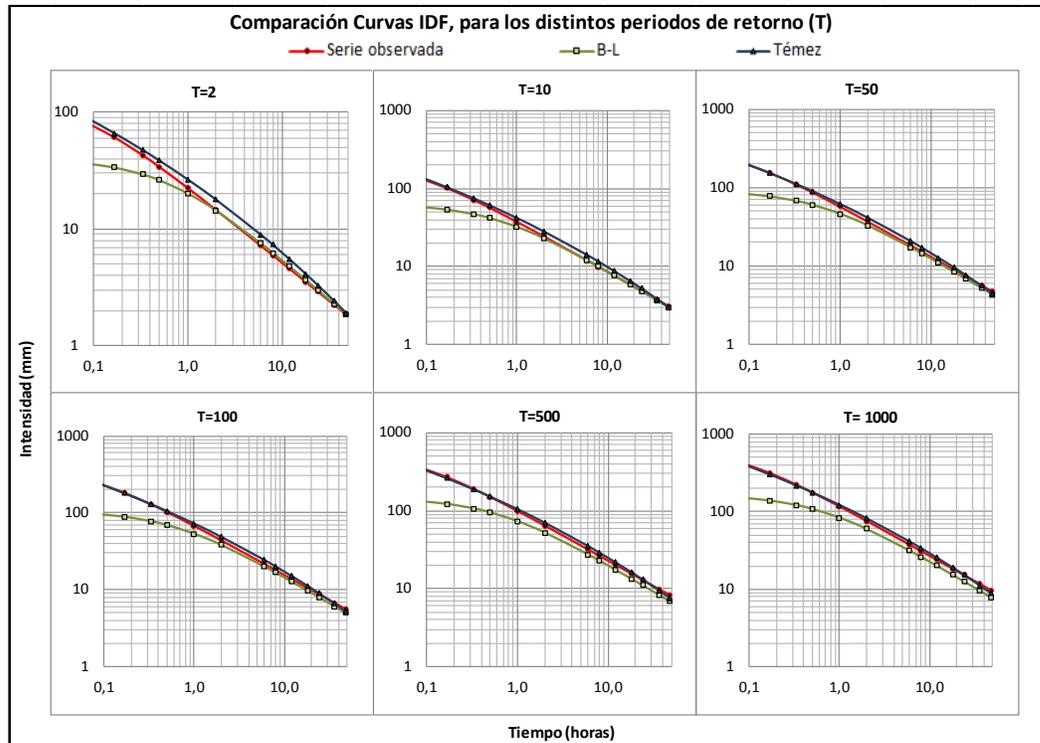


Figura 1 | Comparación de las curvas IDF, obtenidas a partir de la serie observada, de la serie simulada mediante el modelo modificado de Barlett-Lewis y por la expresión de Témez.

REFERENCIAS

- Hutchinson, M. 1990. A point rainfall model based on a 3-state continuous Markov occurrence process. *Journal of Hydrology*, 1095-1114.
- Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 -IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras. BOE. Madrid. Boletín Oficial del Estado, núm. 60, de 10 de marzo de 2016, 18882-19023.
- Rodríguez-Iturbe, I., Cox, D., & Isham, V. 1988. A Point Process Model for Rainfall: Further Developments. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 283-298.
- Témez, J. 1978. *Calculo Hidrometeorológico de Caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111.

Caracterización de patrones espacio-temporales de precipitación en la isla de Tenerife

Javier Díez-Sierra^a, Pedro Delgado Melián^b y Manuel del Jesus^a

^a Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria - Avda. Isabel Torres, 15, Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, 39011, Santander, España (Javier.diez@unican.es, manuel.deljesus@unican.es)

^b Consejo Insular de Aguas de Tenerife. Cabildo de Tenerife (pdelgado@aguastenerife.org)

Línea temática | B. Hidrología y gestión del agua. Riesgos. Energía hidroeléctrica. M. Monográficos.

RESUMEN

Una adecuada caracterización de los regímenes medios y extremales de precipitación es fundamental para reducir la incertidumbre de los resultados en aplicaciones hidrológicas; para lo cual hoy en día todavía es necesario disponer de redes de estaciones meteorológicas. Dichas redes, automatizadas en la mayoría de los casos, cubren áreas muy extensas generando así grandes bases de datos de las cuales es difícil extraer toda su información sin un software específicamente diseñado para su explotación.

En el presente trabajo se presenta MENSEI-L, un software capaz de automatizar todo el proceso de extracción, análisis y visualización de grandes bases de datos con información pluviométrica. MENSEI-L ha sido implementado en la isla de Tenerife, y hace uso de técnicas geostatísticas (Herrera et al., 2012), capaces de introducir información adicional en forma de covariables, para completar las series temporales, generar estaciones virtuales en aquellos puntos en los que no exista información instrumental, ajustar los regímenes medios y extremales de precipitación y calcular los campos espaciales de periodos de retorno para diferentes años en toda la isla de Tenerife (ver figura 1).

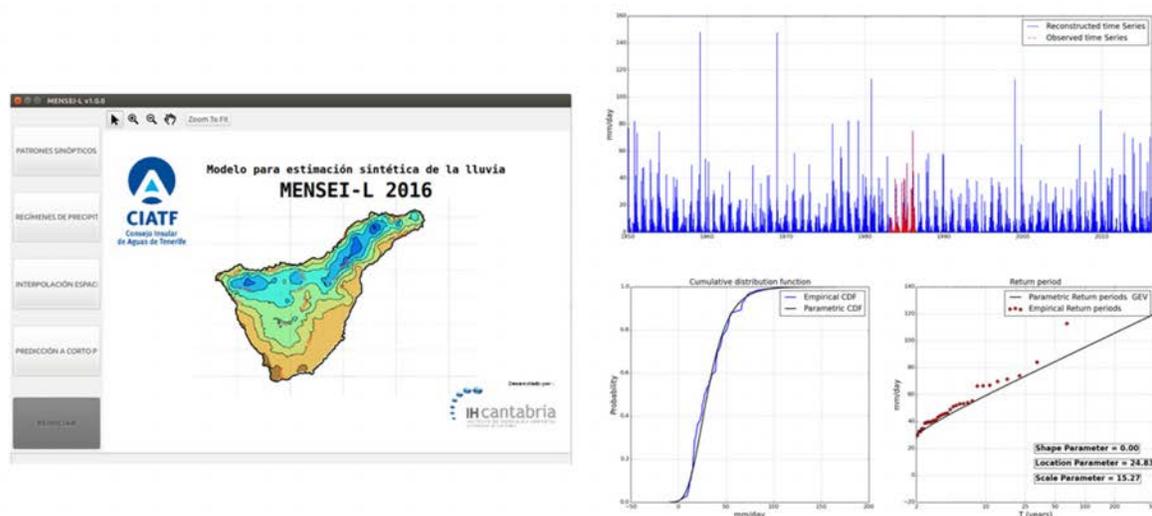


Figura 1. La imagen situada a la izquierda muestra el panel principal de MENSEI-L. La imagen situada a la derecha (panel superior) muestra los registros de precipitación para la estación Adeje-Caleta (línea roja) y la serie de precipitación reconstruida mediante técnicas geostatísticas (línea azul). La imagen situada a la derecha (panel inferior) muestra el ajuste del régimen extremal de precipitación de la misma estación.

MENSEI-L tiene además implementado un sistema de predicción probabilístico de precipitación a tres días vista (ver figura 2). Dicho sistema de predicción se basa en un modelo de regresión no lineal basado en tipos de tiempo, los cuales en este caso corresponderían a patrones sinópticos de presión a nivel del mar y altura geopotencial, de la base de datos de reanálisis CFSR (*Climate Forecast System Reanalysis*), clasificados mediante técnicas de minerías de datos (Camus et al., 2011). El

funcionamiento del sistema de predicción se basa en seleccionar el tipo de tiempo, de entre los n clasificados, más parecido a los resultados de predicción del modelo GFS (*Global Forecast System*) y asignar la precipitación que tuvo lugar en dicho tipo de tiempo en el pasado.

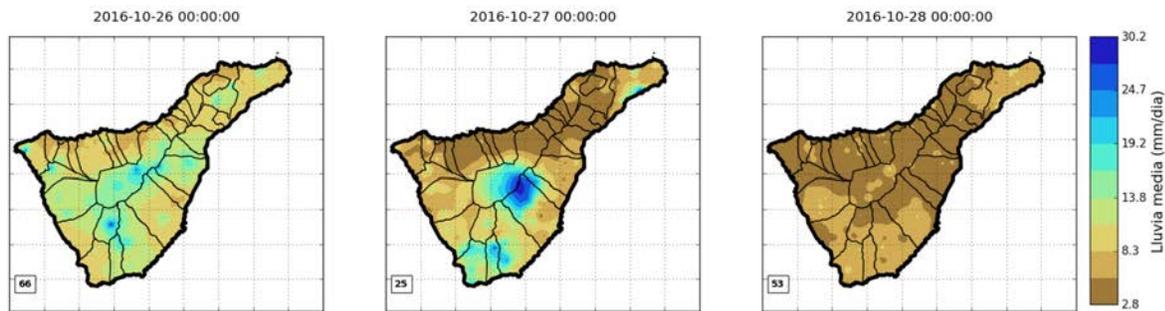


Figura 2. Predicción de los campos espaciales de intensidad de precipitación (mm/día) más probables para las fechas 2016-10-26 – 2016-10-27 y 2016-10-28 mediante el sistema de predicción basado en tipos de tiempo.

Como resultado principal del trabajo se hace uso de la aplicación MENSEI-L para realizar dos análisis diferenciados que demuestran el potencial de la herramienta y la importancia de aplicar técnicas estadísticas para mejorar la información instrumental disponible. En primer lugar se realiza una comparativa entre los periodos de retorno de precipitación obtenidos directamente de la información de las estaciones pluviométricas y aquellos obtenidos tras aplicar las técnicas geostadísticas implementadas en el software. Y en segundo lugar, se contrasta la calidad del sistema de predicción de precipitación probabilístico a través de un análisis forense realizado mediante los registros de precipitaciones extremas e inundaciones que afectaron la isla de Tenerife en el pasado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al “Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF)” por conceder permiso para usar su base de datos de precipitaciones para este manuscrito.

REFERENCIAS

- Camus, P., Mendez, F.J., Medina, R., Cofiño, A.S., 2011. Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate. *Coastal Engineering* 58, 453–462.
- Herrera, S., Gutiérrez, J.M., Ancell, R., Pons, M., Frías, M., Fernández, J., 2012. Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *International Journal of Climatology* 32, 74–85.

Ecuaciones regionales de caudales de Sinaloa, México

Domínguez, R.^{a1}, Arganis, M.^{a2}, Carrizosa, E.^{a3} y Esquivel, G.^{a4}

^a Universidad Nacional Autónoma de México, ^{a1,a2,a3,a4} Instituto de Ingeniería y ^{a2} Facultad de Ingeniería Av Universidad 3000 Col. Copilco C.P. 04510 Cdmx, México. E-mail: ^{a1}rdm@pumas.iingen.unam.mx., ^{a2}MArganisJ@iingen.unam.mx., ^{a3}ecae@pumas.iingen.unam.mx, ^{a4}GESquivelG@iingen.unam.mx

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Introducción

El problema de la obtención de caudales de diseño de obras hidráulicas en sitios con escasa o nula información ha sido motivo de diversos estudios; una alternativa es un análisis de precipitaciones en el sitio y su transformación a escurrimiento); otra alternativa es el uso de técnicas de regionalización (Domínguez et al., 2016). En este trabajo se realizó un proceso de regionalización con la revisión del área de la cuenca, la media y los coeficientes de variación de los caudales máximos instantáneos de la Región Hidrológica (RH) No. 10 Sinaloa, en México (Figura 1); la cual abarca casi en su totalidad en este estado, aunque también comprende algunos territorios de los estados de Chihuahua y de Durango, también integran esta región. La extensión de esta región es de 103 333 km² y cuenta con 23 cuencas.

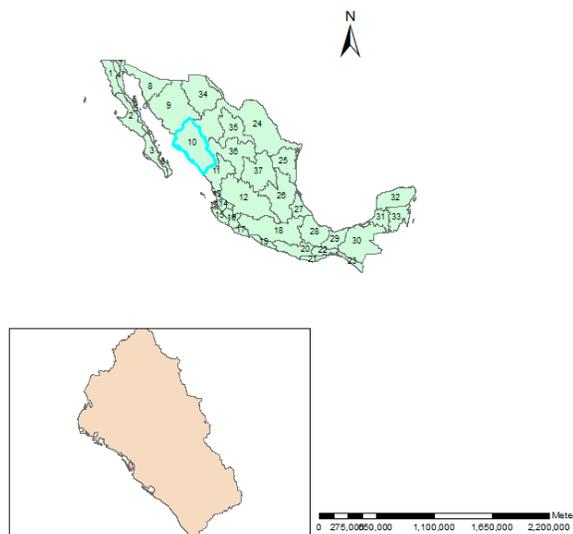


Figura 1 | Región hidrológica No 10, Sinaloa, México.

Metodología

Se consideraron 28 estaciones hidrométricas con 20 o más años de registro de caudales máximos instantáneos pertenecientes a la RH 10; a cada una de las estaciones se les obtienen sus estadísticos y se definen grupos considerando los coeficientes de variación ordenados de mayor a menor y la relación del cuadrado del más grande respecto al siguiente. Las estaciones de cada grupo se normalizan respecto a la media y se construye un solo registro para el grupo formado por los datos normalizados; a este registro se le realiza un análisis estadístico para seleccionar la función de distribución regional de mejor ajuste; el criterio utilizado para esta selección es el del menor error estándar de ajuste. Por otra parte usando todas las

estaciones se obtienen ecuaciones que relacionan a la media de los gastos máximos instantáneos con distintas características fisiográficas de sencilla medición.

Aplicación y conclusión

Se identificaron dos grupos para la RH 10. En la Figura 2 se presenta la curva de ajuste regional para el grupo 1 que correspondió a una función de tipo Doble Gumbel. Algunos ejemplos de ecuaciones con altos coeficientes de determinación que relacionan la media de los gastos máximos instantáneos con características fisiográficas: *A* (área en km²), *hp* (precipitación en mm) y *Smc* (pendiente media de la cuenca en grados) son las ecuaciones 1 y 2. Con ayuda de las ecuaciones anteriores se puede estimar la media de los gastos máximos instantáneos en un sitio y con la curva de ajuste regional se obtienen factores de diseño para distintos periodos de retorno que al multiplicarse por la media anteriormente determinada, se logran definir caudales de diseño para un sitio del que sólo se puedan determinar sus características fisiográficas.

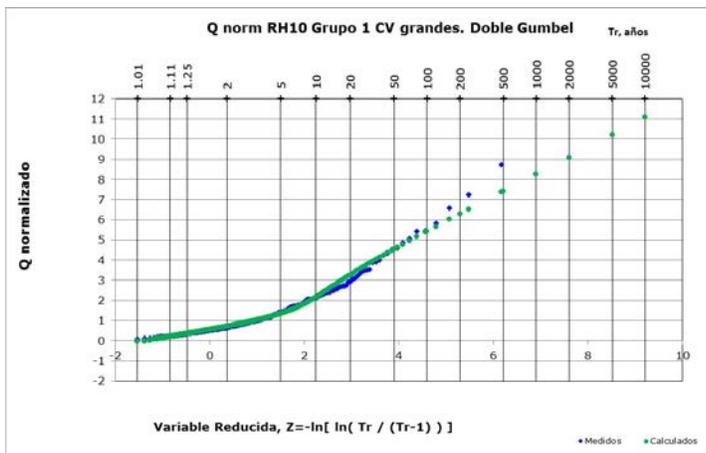


Figura 2 | Ajuste regional Grupo 1. RH 10 Sinaloa, México.

$$M_{qmi} = 2.1064 * A^{0.7165} \tag{1}$$

$$M_{qmi} = 0.0305 * A^{0.6858} * hp^{0.0363} * S_{mc}^{1.4261} \tag{2}$$

REFERENCIAS

Domínguez, R., Arganis, M., Guzmán, H., Carrizosa, E., Esquivel, G., Fuentes, G. 2016. Modelos regionales de Escurrecimientos máximos instantáneos en la República Mexicana. 2016. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 15-32. https://www.imta.gob.mx/tyca/revistadigital198237645imta_comunicacion/revistas-2016/rev-05-2016/files/assets/basic-html/page17.html

Plan Maestro Drenaje Pluvial de la Cuenca de Quilmes (Argentina)

Durán, A.^{a1} y Vidal, J.^{a1}

^{a1}Proyfe S.L., Polígono de La Gándara, Avda. del Mar 123, 15.570 Narón (A Coruña). E-mail: ^{a1}antonio.duran@proyfe.com, ^{a2}juan.vidal@proyfe.com.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Alcance Trabajos

Los trabajos consistieron en la **redacción de instrumentos de planificación** eficaces, enmarcando la ejecución de acciones preventivas y correctivas estructurales y no estructurales, que concluyeron en la redacción del **Plan Maestro de Drenaje Pluvial (PMDP)** y el **Anteproyecto de Obras Prioritarias** en la Ciudad de Quilmes (Argentina). Para ello se analizó el área de estudio, se modelizó hidrológica e hidráulicamente, se evaluaron los riesgos y daños asociados, se plantearon y evaluaron las alternativas de actuación y se seleccionaron y priorizaron las Medidas Estructurales y No Estructurales a realizar.

El trabajo se realizó para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH).

Área de estudio

El área de estudio fue la Cuenca de Quilmes, con una superficie de 35 Km², donde se asienta una población de 193.219 habitantes. Se corresponde con la zona costera del municipio siendo bañada por el Río de La Plata.

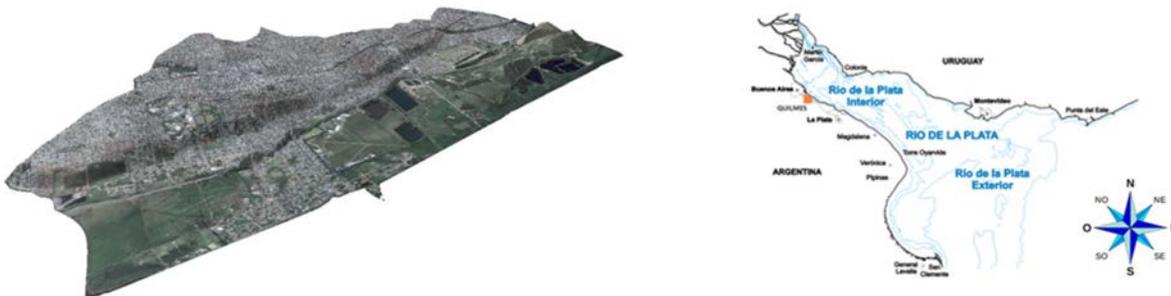


Figura 1 | Recreación 3D del ámbito de actuación (izquierda). Disposición geográfica del Río de la Plata (derecha)

Origen de las Inundaciones. Eventos Extremos.

Las inundaciones, son consecuencia primordialmente de la circulación atmosférica, dominada en la región por el viento sudeste y conocida con el nombre de **sudestada**. Este fenómeno da lugar a una onda de tormenta, que se superpone sobre la marea astronómica alcanzando niveles de agua elevados. También pueden estar ocasionadas por **eventos extremos de precipitación** y en algunos casos por la combinación de ambos eventos (aun siendo independientes probabilísticamente).

Se han analizado eventos extremos para los periodos de retorno de **2, 5, 10, 25, 50 y 100 años**, considerando para ello la **influencia del cambio climático** durante la vigencia del PMDP (30 años).

Modelización Hidrológica e Hidráulica

Se modelizó el área de estudio hidrológicamente mediante el uso de herramientas GIS y el programa HEC-HMS. Debido a las características de la cuenca (planicie con numerosos cauces y cuencas poco definidos), se realizó un **modelo hidráulico bidimensional** utilizando para ello el programa IBER.



Figura 2 | Llanura inundación lluvia T25 años (izquierda) y sudestada T100 años (derecha.)

Nivel de Protección Óptimo. Riesgos y Daños Evitados.

Para la obtención del nivel óptimo de protección requirió de la **evaluación de los costes de inversión, explotación y mantenimiento, daños materiales, daños sociales y ambientales**, para ello mediante la utilización de herramientas GIS se realizaron mapas de peligrosidad, vulnerabilidad, duración, etc. Las metodologías empleadas fueron: “*Flood Risks to People, FD2321/TR1*” y “*The Appraisal of Human related Intangible Impacts os Flooding, FD2005/TR*” del Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA). El resultado de la aplicación del método ha llevado a la obtención de los **niveles de seguridad o protección óptimos** para el diseño de las medidas estructurales frente a eventos extremos de **lluvia (T25)** y sudestada (**T100**).



Figura 3 | Estructura para la evaluación de daños por inundación (izquierda) y mapa Índice Peligrosidad, Environment Agency UK (derecha)

Conclusiones

Con estos trabajos, se crearon las pautas para la **disminución de la vulnerabilidad** y la consecuente **adaptación a los eventos hidrometeorológicos** del área, **reduciendo los daños** a las personas, sus bienes, la infraestructura urbana y productiva, para **resolver los problemas de inundaciones** en armonía con el medio ambiente, cumpliendo además con la mejora de la capacidad de gestión de los organismos encargados de la explotación existentes en la ciudad.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) como cooperación técnica para la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH).

REFERENCIAS

- Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA), *Flood Risks to People, FD2321/TR1*. UK.
 Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA), *The Appraisal of Human related Intangible Impacts of Flooding, FD2005/TR*. UK.

Capacidades del modelo hidrológico TETIS versión 9

Escamilla, V.^{a1}, Puertes, C.^{a2} y Francés, F.^{a3}

^aInstituto Universitario de Investigación en Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València. E-mail:

^{a1}viescam@cam.upv.es, ^{a2}cripueca@cam.upv.es, ^{a3}ffrances@hma.upv.es.

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

En sus casi 20 años de historia, el modelo TETIS ha sido ampliamente utilizado en España y otros países del mundo. Se ha implementado en cuencas de todo tamaño, desde menores a 1 km² hasta los 98,500 km² del río Ródano en Francia, con resoluciones espaciales de 30 a 500 m y cubriendo un amplio rango de climas.

El modelo de simulación hidrológica TETIS es un modelo conceptual, con parámetros de base física y distribuido en el espacio mediante división en celdas cuadradas regulares. De esta forma, permite la heterogeneidad espacial de inputs, parámetros y variables de estado. Está basado en una estructura de tanques en cada celda, interconectados vertical y horizontalmente, que representan los procesos en ladera, acuífero y cauce. Los tanques que constituyen los procesos de ladera son: manto de nieve, intercepción, superficie y las zonas capilar y gravitacional del suelo. Por otra parte, el acuífero y el cauce están representados por un único tanque cada uno. Los flujos correspondientes a escorrentía directa, interflujo y flujo base se conectan con la red fluvial, que se subdivide entre cárcavas y cauces, mediante el empleo de dos umbrales de áreas de drenaje. Las laderas (escorrentía directa e interflujo) se conectan directamente con la red de cárcavas, y sólo cuando existe flujo base, se conectan a la red de cauces. La propagación en la red fluvial se resuelve mediante la Onda Cinemática Geomorfológica.

TETIS presenta una estructura separada de sus parámetros efectivos, consiguiendo que el valor efectivo de un parámetro en una celda sea el resultado de la multiplicación del valor del mapa correspondiente por un factor corrector, común para todas las celdas, y diferente para cada parámetro (Francés et al., 2007). Esto supone una altísima ventaja en la fase de calibración, ya que se reduce drásticamente el número de variables a optimizar y pudiéndose incluso realizar calibraciones automáticas.

Además de la simulación hidrológica, TETIS permite la simulación del ciclo de sedimentos (Bussi et al, 2014). Este sub-modelo se basa en la formulación desarrollada en el modelo CASC2D-SED (Rojas, 2002), pero considerando tanto los procesos en ladera como en canales, unidimensionales. En el caso de los procesos en ladera, se emplea la ecuación modificada de Killinc y Richardson, mientras que en cárcavas y cauces se emplea la ecuación de Engelund y Hansen. Las tasas de producción, transporte y depositación están controladas por la disponibilidad de sedimentos en la cuenca, en el caso de materiales finos, y por la capacidad de transporte de la corriente, para los materiales gruesos. Las partículas de sedimentos consideradas por el sub-modelo se dividen en categorías según el tamaño: arena, limo y arcilla.

Una de las novedades incluidas en esta versión 9 de TETIS es el sub-modelo de vegetación dinámica (Ruiz-Pérez et al., 2016). El sub-modelo juega un papel clave en aquellos ambientes con estrés hídrico, ya que considera la vegetación como una variable de estado. Para simular simulación de la vegetación de forma adecuada, este sub-modelo realiza unas modificaciones sobre el esquema clásico de TETIS. En este caso, la intercepción máxima no es un parámetro, ésta se calcula a partir de la capacidad de almacenamiento foliar, que pasa a ser el parámetro, y el Leaf Area Index (LAI) simulado. Por otra parte, la zona efectiva de raíces (zona capilar), se divide en dos capas: una capa superficial desde la que se produce evaporación de suelo desnudo y transpiración de las raíces superficiales, y una segunda capa desde la que se produce la transpiración de las raíces más profundas. La transpiración se obtiene haciendo uso de la ET₀ multiplicada por un factor de estrés hídrico y por un factor relacionado con el LAI simulado. También modeliza las dinámicas de la biomasa, basándose en el concepto del índice Light Use Efficiency (LUE) (Pasquato et al., 2014). El índice LUE es la proporcionalidad entre la producción de biomasa de la planta y la radiación absorbida fotosintéticamente activa en condiciones óptimas. Sin embargo, esta eficiencia puede verse afectada por condiciones de estrés. Los factores claves que condicionan la variación de esta eficiencia son: humedad del suelo, temperatura

del aire y disponibilidad de nutrientes. En este caso, se modeliza la biomasa foliar teniendo en cuenta un factor de estrés reductor del índice LUE por las fuentes de estrés derivadas de la disponibilidad de agua y la temperatura únicamente.

La segunda novedad de esta nueva versión de TETIS, es la simulación del ciclo del nitrógeno mediante un sub-modelo basado en el modelo INCA (Wade et al., 2002). Este sub-modelo considera el nitrógeno en tres de sus formas: nitrógeno orgánico, amonio y nitrato. Las celdas de ladera se dividen en tres partes: suelo, acuífero y flujo en superficie. En el suelo el nitrógeno se divide en cuatro tanques: nitrógeno orgánico, amonio adsorbido, amonio disuelto y nitrato. Los procesos considerados son: mineralización, inmovilización, nitrificación y desnitrificación, modelizados mediante cinéticas de primer orden, y fijación, adsorción/desorción de amonio y deposición atmosférica. En el acuífero únicamente se considera que el nitrógeno pueda existir en sus formas de amonio disuelto y nitrato, por lo tanto, está representado por dos tanques únicamente, y por las condiciones de anoxia, no se considera ningún proceso de transformación. En el flujo superficial, el nitrógeno se divide en tres tanques: nitrógeno orgánico disuelto, amonio disuelto y nitrato. Los procesos considerados son: mineralización, nitrificación y desnitrificación, modelizados con cinéticas de primer orden. El transporte de nitrógeno se realiza únicamente como movimiento advectivo. Además, es posible simular el ciclo de sedimentos junto con el ciclo del nitrógeno. De esta forma, es posible modelizar el nitrógeno orgánico y amonio adsorbidos que son movilizados en los procesos de erosión, transporte y depositación de sedimentos. Con la activación de ambos, el flujo superficial se modeliza por cuatro tanques adicionales: nitrógeno orgánico y amonio adsorbido a los sedimentos en suspensión, y a los sedimentos depositados.

Por tanto, la versión 9 de TETIS es ya un modelo integral, en el sentido de que en el mismo modelo hidrológico se pueden resolver problemas de crecidas, recursos hídricos, erosión, vegetación dinámica y contaminación por nitrógeno. Lo cual tiene grandes ventajas desde el punto de vista operacional y, probablemente más importante, es posible incluir y analizar las interacciones entre todos los procesos involucrados.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de TETIS ha sido soportado económicamente a lo largo del tiempo por muchas instituciones, empresas y proyectos de I+D+i, y en los últimos años por el proyecto de Plan Nacional TETISMED (CGL2014-58127-C3-3-R).

REFERENCIAS

- Bussi, G., Francés, F., Montoya, J.J., Julien, P. 2014. Distributed sediment yield modelling at Goodwin Creek: importance of initial sediment conditions. *Environmental Modelling & Software*, 58, 58-70, doi:10.1016/j.envsoft.2014.04.010.
- Francés, F., Vélez, J.I., Vélez, J.J. 2007. Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 332(1-2), 226-240.
- Pasquato, M., Medici, C., Friend, A.D., Francés, F. 2014. Comparing two approaches for parsimonious vegetation modelling in semiarid regions using satellite data. *Ecohydrology*, 8, 1024-1036, doi:10.1002/eco.1559.
- Rojas, R. 2002. *GIS-based upland erosion modeling, geovisualization and grid size effects on erosion simulations with CASC2D-SED*. Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Ruiz-Pérez, G., González-Sanchís, M., del Campo, A., Francés, F. 2016. Can a parsimonious model implemented with satellite data be used for modelling the vegetation dynamics and water cycle in water-controlled environments? *Ecological Modelling*, 324, 45-53.
- Wade, A.J., Durand, P., Beaujouan, V., Wessel, W.W., Raat, K.J., Whitehead, P.G., Butterfield, D., Rankinen, K., Lepisto, A. 2002. A nitrogen model for European catchments: INCA, new model structure and equations. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(3), 559-582, doi:10.1016/j.ecolmodel.2016.01.002.

Evaluación del potencial de las corrientes de marea para aprovechamiento energético mediante simulación de flujo bidimensional

Fernández Suárez, D^{a1} y Álvarez Álvarez, E^{a2}

^{a1}Universidad de Oviedo, Departamento de Energía, Campus de Barredo, 33600-Mieres, España. E-mail: a1uo194859@uniovi.es,
^{a2}edualvarez@uniovi.es.

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

Las energías marinas disponen de un importante potencial aún por desarrollar. El aprovechamiento energético de la energía proveniente de las corrientes de marea es a día de hoy un reto no resuelto. Pese a que el recurso es de un elevado potencial, continuo y predecible, las aproximaciones tecnológicas existentes basadas fundamentalmente en presas de mareas y grandes turbinas hidrocínicas, aún se encuentran en un estado incipiente encontrando importantes barreras a su desarrollo. Estas son fundamentalmente sus elevados costes de inversión, operación y mantenimiento así como su elevado impacto ambiental.

No obstante, recientemente distintas investigaciones proponen la obtención de la energía de las corrientes en localizaciones cercanas a la costa, mediante microturbinas hidrocínicas y su integración en microrredes o smart grids. Esto abre la posibilidad del desarrollo de nuevos servicios energéticos que pueden ser directamente aprovechados en las proximidades de las localizaciones de producción de energía, como sistemas de iluminación o puntos de recarga de vehículos eléctricos. Así mismo este tipo de instalaciones pueden ser viables al minimizar la inversión necesaria, el coste de operación/mantenimiento y el aprovechamiento in-situ de la energía obtenida. También ha de tenerse en cuenta su reducido impacto ambiental.

Con este nuevo escenario, el desarrollo de métodos de análisis de localizaciones óptimas tiene una gran importancia. A diferencia de los complejos modelos numéricos que presentan como solución las distintas investigaciones, el desarrollo de una metodología que permita el desarrollo de modelos con los que se puedan obtener resultados con reducidos costes computacionales, sin inversión en el software necesario y acceso a datos se proponen como retos a conseguir. Así mismo, es necesario que los estudios se completen con propuestas diseños de microrredes que permitan que el consumo de la energía obtenida se realice de manera óptima.

En este trabajo se realiza una evaluación del potencial energético que es posible aprovechar en la desembocadura de ríos utilizando para ello instalaciones de microgeneración. Este tipo de instalaciones pueden ser viables en localizaciones cercanas a la costa al minimizar la inversión necesaria y el coste de operación, así como el impacto ambiental. Para ello, se ha trabajado con el programa gratuito de simulación de flujo bidimensional HEC-RAS siendo necesario construir un modelo geométrico de la desembocadura utilizando datos geográficos de libre acceso e información náutica. Los resultados demuestran la existencia de una zona con un potencial energético viable de utilizar desde un punto de vista técnico.

REFERENCIAS

- Fernández-Suárez, D., Álvarez-Álvarez, E., Gutiérrez-Trashorras, A.J., Fernández-Francos, J. 2016. Evaluación del potencial energético de las corrientes de marea en la desembocadura del río Nalón (Asturias, España) mediante simulación de flujo unidimensional. *Ingeniería del Agua* 19(1), 31-42.
- Bladé, E., Sánchez-Juny, M., Sánchez, H.P., Ñiñerola, D., Gómez, M. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable. Una visión a partir del modelo HEC-RAS. Edicions UPC: Barcelona.
- Carballo, R., Iglesias, G., Castro, A. (2009). Numerical model evaluation of tidal stream energy resources in the Ría de Muros (NW Spain). *Renewable Energy*, 34(6): 1517-1524. doi:10.1016/j.renene.2008.10.028

- Cavanagh, J.E., Clarke, J.H., Price, R. (1993). Ocean energy systems. Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity. In: T.B. Johansson, H. Kelly, A.K.N. Reddy, and R.H. Williams, eds. Island Press: Washington, DC.
- Cedex. (2017). Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Disponible en: <http://hercules.cedex.es/anuarioaforos>
- Gorban, A.N., Gorlov, A.M., Silantyev, V.M. (2001). Limits of the turbine efficiency for free fluid flow. *Journal of Energy Resources Technology*, 123(4): 311-317. doi:10.1115/1.1414137
- Horritt, M.S., Bates, P.D. (2005). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Environmental Management*, 75(4): 325-336.
- Instituto Geográfico Nacional. (2017). Disponible en: <http://www.ign.es/PNOA>
- International Energy Agency. (2012). Key World Energy Statistics 2012. International Energy Agency, Paris.
- Kim, K.P., Ahmed, M.R., Lee, Y.H. (2010). Conceptual Design of a 100kW Energy Integrated Type Bi-Directional Tidal Current Turbine. AIP Conference Proceedings, 21–23 October 2009, Kuala Lumpur: Malaysia. 1225, pp. 650. doi:10.1063/1.3464914
- O'Rourke, F., Boyle, F., Reynolds, A. (2010). Tidal energy update 2009. *Applied Energy*, 87(2): 398-409. doi:10.1016/j.apenergy.2009.08.014
- Puertos del Estado. (2017). Disponible en: http://www.puertos.es/oceanografia_y_meteorologia/redes_de_medida/index.htm

Herramienta para la evaluación de la resiliencia en los sectores agrícola y forestal mediante tecnologías Big Data

VM. Fernández-Pacheco ^{a1}, E. Antuña Yudego ^{b1}, E. Álvarez Álvarez ^{a2}, J. Fernández Francos ^{a3}, MJ. Suárez López ^{a4}, A. Fernández-Villán ^{b2}, JL. Carús-Candás ^{b3}, V. Wolfs ^{c1}, V. Ntegeka ^{c2}, P. Willems ^{c3}, M. García ^{d1}, A. Palacios-Orueta ^{e1}, J. Litago ^{e2}, L. Juana ^{e3}

^a Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres-C/Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n, Mieres, Asturias. E-mail:

^{a1}victorpacheco.ing@gmail.com, ^{a2}edualvarez@uniovi.es, ^{a3}jffrancos@uniovi.es, ^{a4}suarezmaria@uniovi.es.

^b TSK- C/Ada Byron, 220, Gijón. E-mail: ^{b1}elena.antuna@grupotsk.com, ^{b2}alberto.fernandez@grupotsk.com, ^{b3}juanluis.carus@grupotsk.com.

^c Sumaqua- C/Tiensesteeweg 28, Leuven, Bélgica. E-mail: ^{c1}vincent.wolfs@sumaqua.be, ^{c2}victor.ntegeka@sumaqua.be,

^{c3}patrick.willems@sumaqua.be

^d Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark (DTU)- C/2800 Kgs. Lyngby, Denmark. E-mail:

^{d1}mgarc@env.dtu.dk

^e Universidad Politécnica de Madrid- Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España. E-mail: ^{e1}alicia.palacios@upm.es, ^{e2}javier.litago@upm.es,

^{e3}luis.juana@upm.es

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

El estrés hídrico constituye un grave problema que se incrementa día tras día debido a la actividad y al desarrollo humano. A esta circunstancia se deben sumar los efectos cada vez más notables del cambio climático, caracterizados por eventos extremos de lluvia y temperaturas (IPCC, 2014). Este escenario provoca un gran impacto negativo en el sector agrícola y forestal, especialmente en aquellas regiones con recursos hídricos muy limitados (Knapp et al., 2008). De esta forma, surge una nueva necesidad de predecir las consecuencias de este escenario en los sistemas mencionados para evaluar la resiliencia de los ecosistemas bajo condiciones hidroclimáticas variables. En la actualidad, las soluciones tradicionales propuestas no son capaces de afrontar este problema con resultados satisfactorios. El principal motivo de esta limitación se debe buscar en la gran variedad de escalas (tanto espaciales como temporales) asociadas a los procesos hidrológicos (Willems, 2013, Wheeler y Von Braun, 2013, Piao et al., 2010) lo que resulta en una gran complejidad que los métodos clásicos no son capaces de afrontar correctamente. Para superar esta barrera, se propone una nueva metodología de análisis capaz de manejar de forma eficiente las distintas escalas consideradas y obtener unos resultados de predicción fiables que permitan incrementar la resiliencia y eficiencia de uso de los recursos hídricos (Scheffer, 2009).

En la nueva solución propuesta, bajo el acrónimo FORWARD (Operational monitoring and Forecasting system for Resilience of agriculture and forestry under intensification of the WAteR cycle), se pretende investigar, desarrollar y configurar una herramienta capaz de identificar y recopilar variables ecohidrológicas desde fuentes de datos libres y analizarlas mediante la combinación de minería de datos con distintos modelos de análisis para obtener como resultado indicadores de resiliencia y de parámetros hidrológicos clave, así como una predicción climática. Una de las características primordiales de esta herramienta consiste en la implementación de la misma en una plataforma Big Data. Este factor se presenta como una gran innovación desde el punto de vista tecnológico, al emplear la tecnología de Big Data, capaz de almacenar y manejar grandes volúmenes de información de forma eficiente, al servicio de la hidrología, lo que constituye una actuación sin precedentes.

Los **objetivos** que se persiguen con el diseño e implementación de esta herramienta son fundamentalmente:

1. Desarrollar e implementar una **arquitectura Big Data** a medida y adaptable capaz de manejar múltiples fuentes de datos con una alta heterogeneidad de variables en cada una de ellas (imágenes, datos en crudo, agregados, indicadores existentes), técnicas de minería de datos, así como modelos que operen a diferentes escalas (local, regional, nacional y continental).
2. Proporcionar: (a) **modelos de previsión** mejorados tanto a diferentes escalas temporales (diarios, mensuales o estacionales) como a diferentes escalas espaciales; (b) **monitorización de las variables e indicadores eco-hidrológicos**

más relevantes en los campos de la agricultura y los sistemas forestales mediante la combinación de diferentes tipos de modelos (*data-mining*, *data-driven* y *process-based*) en una **arquitectura Big Data**.

3. **Estudiar y entender la resiliencia** del recurso hídrico en ecosistemas forestales y de agricultura de las regiones que presenten carencias de agua y eventos extremos, especialmente en el caso de sequías, y en el contexto del cambio climático. Se pretenden estudiar los sitios más vulnerables a este problema mediante la combinación de todas las fuentes de datos disponibles y técnicas avanzadas de minería de datos.

La metodología que se plantea para la consecución de los objetivos descritos se muestra en la Figura 1:

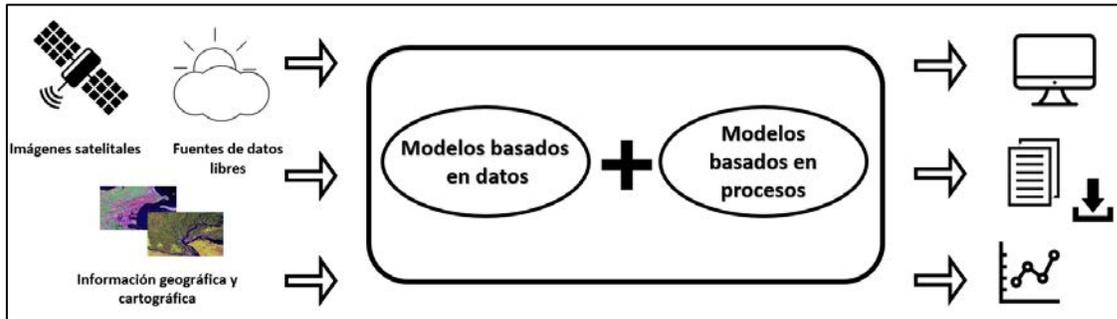


Figura 1| Metodología de trabajo.

Estos desarrollos se combinarán en la plataforma de Big Data y se aplicarán a un estudio de caso para la Península Ibérica. No obstante, los métodos desarrollados serán aplicables a todo el continente europeo.

Por último, los resultados esperados son fundamentalmente:

- Contribución al estado del arte y mejora de la comprensión sobre los procesos implicados en la resiliencia de los sistemas agrícolas y forestales, así como la generación de nuevos indicadores del proceso.
- Desarrollo de nuevas técnicas analíticas y de minería de datos y herramientas para la gestión eficiente del recurso hídrico y apoyo a la toma de decisiones basadas en la tecnología Big Data.
- Contribución a la creación de planes públicos de actuación en colaboración con gobiernos en la lucha contra el cambio climático y protección de los recursos naturales, así como la concienciación y formación social.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la UE y los siguientes organismos: Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), “Innovation Fund Denmark” (IFD) y “Flanders Innovation & Entrepreneurship” (VLAIO) por su financiación, en el marco del consorcio internacional colaborativo FORWARD bajo la convocatoria WaterWorks2015-ERA-NET Cofund. Esta convocatoria es una parte integral de las Actividades Conjuntas de 2016 desarrollado por “Water JPI”.

REFERENCIAS

- IPCC. 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. USA Cambridge University Press, 1, 32.
- Knapp A.K., Beier C., Briske D.D., Classen A.T., Luo Y., Reichstein M., Smith M.D., Smith S.D., Bell J.E., Fay P.A., Heisler J.L., Leavitt S.W., Sherry R., Smith B. & Weng E. (2008). Consequences of More Extreme Precipitation Regimes for Terrestrial Ecosystems. *Bioscience*, 58, 811-821.
- Piao, S., et al. (2010). The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature* 467, 43-51.
- Scheffer, M. (2009). *Critical transitions in nature and society*. Princeton University.
- Wheeler, T., & Von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508-513.
- Willems, P. (2013). Multidecadal oscillatory behaviour of rainfall extremes in Europe. *Climatic Change*, 120(4), 931-944.

Metodología estocástica para la determinación de resguardos estacionales en presas

Gabriel-Martin, I. ^{a1}; Sordo-Ward, A. ^{a2} y Garrote, L. ^{a3}

^a Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica, Energía y Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, C/ Profesor Aranguren 3, 28040, Madrid. E-mail: ^{a1}i.gabrielmartin@caminos.upm.es, ^{a2}alvaro.sordo.ward@upm.es, ^{a3}l.garrote@upm.es.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Las nuevas regulaciones y normativas tienden a un aumento de la seguridad de las grandes presas, influyendo tanto en el diseño como en la adaptación de las presas existentes a los nuevos criterios exigidos. Es necesario por tanto definir metodologías de evaluación que puedan aplicarse al conjunto de presas existentes con la finalidad de identificar aquéllas que resulten menos seguras y requieran actuación. Esta necesidad se ha visto reflejada en el primer tomo de la Guía Técnica nº8 de explotación de presas y embalses, así como en el borrador de las Normas Técnicas de Seguridad de Presas y Embalses (en adelante NTS).

La seguridad hidrológica no debe entenderse únicamente como el periodo de retorno asociado a las tormentas de diseño. Existen una serie de factores que afectan a la seguridad hidrológica que generalmente no son contemplados simultáneamente, como la distribución temporal de las precipitaciones, el nivel inicial en el embalse o la operación de los órganos de desagüe. Por ello, se puede considerar que las leyes de frecuencia de niveles máximos en el embalse y de caudales máximos desaguados son las variables más representativas de la seguridad hidrológica tanto de la presa como aguas abajo de ésta (p.e: Sordo-Ward et al., 2017). En el caso de la protección frente a sobrevertido, en muchos casos se adoptan una serie de resguardos estacionales que permiten mitigar el efecto de las avenidas. Por lo general, estos resguardos se analizan con la hipótesis de que el embalse se encuentra completamente lleno (Nivel Máximo Normal) en el momento de la avenida. Si bien en el proyecto de nuevas presas tiene sentido la adopción de esta hipótesis, en el caso del análisis de la seguridad hidrológica de presas existentes es razonable considerar la variabilidad del nivel inicial en el momento de avenida. Una de las ventajas principales del uso de metodologías de tipo estocástico es la posibilidad de tener en cuenta la variabilidad de los procesos asociados a los estudios hidrológicos.

El objetivo principal de este trabajo es presentar una metodología de carácter estocástico para la obtención de resguardos estacionales (Figura 1). Para ello, en primer lugar, se analizan los resultados suponiendo el embalse a Nivel Máximo Normal en el momento de las avenidas (Figura 1a). A posteriori, se analizan la adopción de resguardos estacionales en la presa para la definición de sus Normas de Explotación asegurando el cumplimiento de las NTS. En este caso, el nivel inicial en el embalse en el momento de las avenidas se adopta igual al correspondiente de los resguardos, dependiendo este nivel de la estación de ocurrencia de las distintas avenidas (Figura 1b). Por último, se analiza la influencia de la variabilidad del nivel inicial en el embalse, obteniendo así una caracterización más realista de la seguridad hidrológica y proponiéndose una metodología para la definición de resguardos teniendo en cuenta esta variable (Figura 1c). La metodología expuesta se aplica a una presa de gravedad, clasificada como tipo A en función del riesgo potencial. La presa tiene un aliviadero principal de compuertas. La función principal de la presa es el suministro de aguas destinadas a las demandas de regadío. En consecuencia, los niveles en el embalse a lo largo del año tienen una gran variabilidad de tipo estacional. Para la aplicación de la metodología se han seguido los siguientes pasos:

- A partir de la serie de caudales disponibles, se han obtenido hidrogramas representativos de las distribuciones de duración, volumen y caudales punta observados mediante una metodología de tipo estocástico.
- Se han caracterizado las avenidas de manera estacional mediante la técnica estadística de series parciales.

- Se han obtenido las distribuciones de niveles iniciales en el embalse partir de la simulación de las reglas de explotación adoptando los resguardos estacionales previamente definidos. A posteriori, se ha realizado un proceso iterativo en el que se redefinen los resguardos teniendo en cuenta la variabilidad del nivel inicial, simulándose de nuevo las reglas de explotación del embalse para obtener las distribuciones de niveles iniciales estacionales.
- La operación de los órganos de desagüe para la laminación de las avenidas se ha simulado mediante el método de Evaluación Volumétrica propuesto por Girón (1988) con modificaciones adoptadas de Sordo-Ward et al. (2017).
- Por último, en cada caso se analizan las leyes de frecuencia de niveles máximos en el embalse y caudales máximos desaguados.

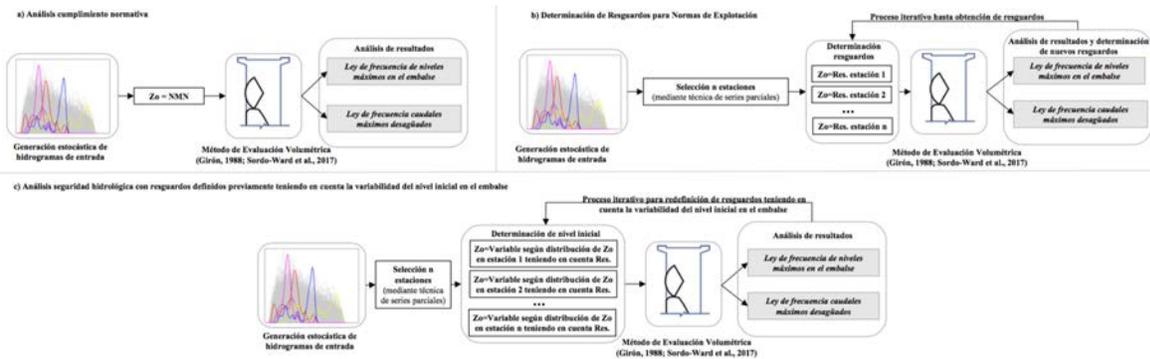


Figura 1 | Esquema de la metodología aplicada.

Las conclusiones principales del estudio se obtienen de la ley de frecuencia de niveles máximos en el embalse (Figura 2). Para ello, se interpreta que el periodo de retorno exigido para el Nivel de Avenida de Proyecto es el correspondiente al definido para la avenida de proyecto para presas de gravedad tipo A (es decir, $Tr_{NAP}=1000$ años). En el primer escenario, se observa que la presa cumple la normativa para la que fue diseñada (Instrucción de Grandes Presas de 1968; $Tr_{NAP}=500$ años), pero no las NTS. Para la definición de las normas de explotación, se definen unos resguardos que cumplen con las NTS (Figura 2b). Cuando se tiene en cuenta la variabilidad del nivel inicial, se observa como aumenta Tr_{NAP} (Figura 3c). Mediante la adopción de nuevos resguardos teniendo en cuenta la variabilidad del nivel inicial (Figura 3d), se aumenta el volumen de agua disponible para el suministro de demandas durante la explotación ordinaria del embalse cumpliendo con las NTS en lo referente a gestión de avenidas.

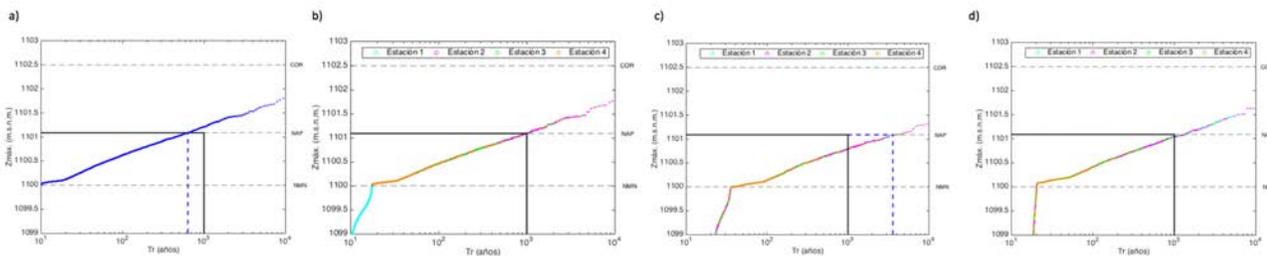


Figura 2 | Leyes de frecuencia de niveles máximos ($Z_{máx.}$) en el embalse para los distintos escenarios estudiados: a) nivel inicial igual al nivel máximo normal, b) niveles iniciales iguales a los correspondientes a los resguardos adoptados según la estación de ocurrencia de la avenida, c) nivel inicial variable obtenido de las distribuciones de probabilidad de niveles iniciales en el embalse teniendo en cuenta los resguardos establecidos, d) Nivel inicial variable a partir de las distribuciones de probabilidad de niveles iniciales en el embalse con la adopción de nuevos resguardos estacionales.

REFERENCIAS

Girón, F. 1988. The evacuation of floods during the operation of reservoirs. In: Transactions Sixteenth International Congress on Large Dams, Report 75; International Commission on Large Dams (ICOLD), San Francisco, California, USA, Volume 4, 1261–1283.

Sordo-Ward, A., Gabriel-Martin, I., Bianucci, P., Garrote, L. 2017. A Parametric Flood Control Method for Dams with Gate-Controlled Spillways. *Water* 9(4), 237.

Nuevas experiencias derivadas del uso de sensores remotos para el desarrollo de herramientas de ayuda a la toma de decisiones

García, S.^{a1}, Torre, G.^{a2}, Álvarez, E.^{a3}, Fernández, J.^{a4}, López, C. A.^b, Campos, A. M.^{c1} y Arango, R. B.^{c2}

^a Grupo de Ingeniería Fluido Dinámica. Universidad de Oviedo, Campus de Mieres, calle Gonzalo Gutiérrez Quirós, s/n, 33600, Mieres. E-mail: ^{a1} silviagarnu@gmail.com, ^{a2} guadalupetorre1@gmail.com, ^{a3} edualvarez@uniovi.es, ^{a4} jffrancos@uniovi.es

^b Grupo de Investigación de Sistemas Forestales Atlánticos (GIS-Forest). Universidad de Oviedo, Campus de Mieres, calle Gonzalo Gutiérrez Quirós, s/n, 33600, Mieres. E-mail: lopezscarlos@uniovi.es

^c Seresco, calle Santa Susana, 14, 33008. E-mail: ^{c1} antonio.campos@seresco.es, ^{c2} rodolfo.debenito@seresco.es

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

El concepto de Viticultura de Precisión surge de una necesidad en la optimización de la producción de la viña y la calidad de la uva. La incorporación de nuevas tecnologías en el ámbito de los sensores remotos permite la gestión diferencial del estado fenológico de los cultivos de cara a la zonificación intraparcularia de la viña con finalidad de vendimia selectiva. (Arnó et al, 2009; Martínez-Casasnovas et al., 2010).

El empleo de imágenes satélite de alta resolución espacial, espectral y temporal junto con la incorporación de sensores de campo (cámaras térmicas, redes de sensores y estaciones meteorológicas) permite obtener una información espacio-temporal ininterrumpida de cara a optimizar la planificación de las tareas asociadas al cultivo de la viña.

A pesar de que estas fuentes de adquisición de datos han experimentado notables avances tecnológicos, el desarrollo de herramientas informáticas a escala comercial que engloben dicha información todavía es incipiente. Estas novedosas herramientas (con aplicación tanto en el sector vinícola como agrícola en general) pretenden facilitar el trabajo al agricultor y a los técnicos de campo mediante la gestión de la información que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica (SIG) derivada de la integración de los datos provenientes de distintas fuentes de sensores remotos. Dentro de las posibilidades que ofrecen estas herramientas se encuentran, el control de distintos parámetros que afectan a los cultivos, registro y visualización de datos para extraer información útil (gráficos, tablas de datos, ...), elaboración de estadísticas e informes, geolocalización de parcelas, servicios de alertas, cuadernos de campo para el seguimiento de los trabajos y planes de actuación sobre el cultivo.

En este marco, se encuentra Cultiva Decisiones (<https://cultiva.green/es/>) (Figura 1) como herramienta informática global para facilitar la toma de decisiones en el ámbito de la viticultura, basada en Agricultura de Precisión y orientada a la mejora tanto de la calidad de la uva como de su producción. Se basa en la obtención de datos en continuo, para conocer el estado del viñedo (teledetección, sensórica, meteorología...), e incluye técnicas de inteligencia artificial para la asistencia en cuanto a fertilización, control de plagas, recolección, etc., con el objetivo final de lograr una cosecha optimizada en costes y calidad.

En la actualidad, la herramienta informática incorpora imágenes multiespectrales del sensor satelital Landsat-8 para el cálculo de índices de vegetación (NDVI), que permite registrar la interacción de la viña con la radiación electromagnética de cara a segmentar las viñas en zonas homogéneas desde el punto de vista del vigor de las distintas cepas.

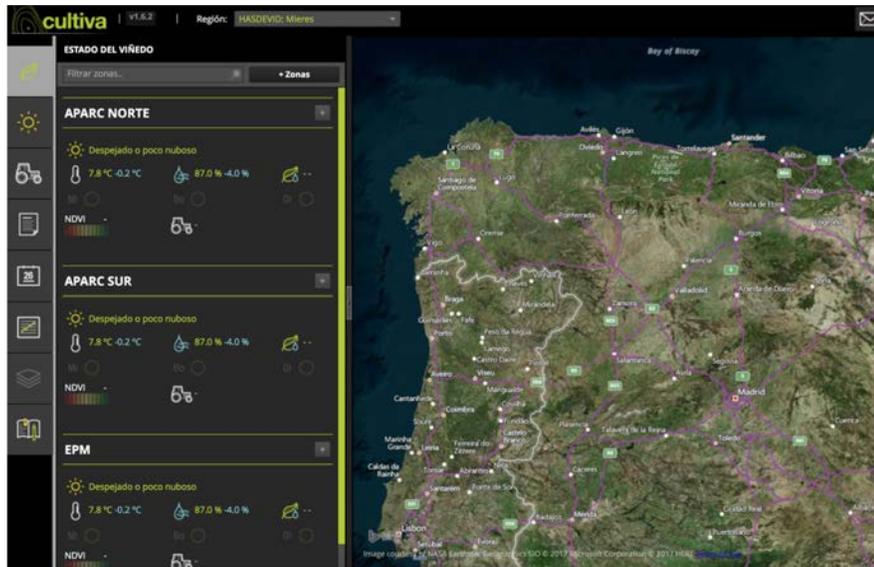


Figura 1 | Interfaz de la herramienta informática "Cultiva Decisiones".

Un próximo desarrollo permitirá a la herramienta disponer de imágenes multiespectrales pertenecientes a la constelación Sentinel-2, que supondrá un incremento de la resolución espacial, temporal y espectral de las imágenes, y la consiguiente generación de nuevos índices de vegetación, tales como: NDWI (Normalized Difference Water Index), que sirve para detectar necesidades de riego; GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), que se correlaciona con los niveles de nitrógeno siendo útil para planificar la fertilización; MCARI (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index), para determinar el rendimiento de producción CRII (Carotenoid Reflectance Index 1), útil en la determinación del envero.

REFERENCIAS

- Arnó, A. J., Martínez-Casasnovas, J. A., M. Ribes-Dasi, M., Rosell, J. R. 2009. Review. Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management, *Spanish Journal of Agricultural Research* 7(4), 779-790.
- Martínez-Casasnovas, J. A., Agelet, J., Arnó, J., Bordes, X., y Ramos, M. C. 2010. Protocolo para la zonificación intraparcularia de la viña para vendimia selectiva a partir de imágenes multiespectrales. *Revista de Teledetección*. ISSN: 1988-8740. 33: 47-52.

Utilidad de las proyecciones climáticas generadas por AEMET para estudios de impacto del cambio climático sobre la ley de frecuencia de avenidas a escala nacional

Garijo, C.^{a1}, Mediero, L.^{a2} y Garrote, L.^{a3}

^aDepartamento de Ingeniería Civil: Hidráulica, Energía y Medioambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, C/ Profesor Aranguren 3, Ciudad Universitaria, ES-28040, Madrid, España.
E-mail: ^{a1}c.garijo@upm.es, ^{a2}luis.mediero@upm.es, ^{a3}l.garrote@upm.es

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Se prevé que el cambio climático tenga como consecuencia variaciones en la magnitud y frecuencia de las avenidas. La forma más habitual de evaluar dichos cambios consiste en tomar las proyecciones de una serie de variables climáticas e introducirlas como dato de entrada en un modelo hidrológico calibrado en la cuenca de estudio. Sin embargo, los resultados de diferentes estudios realizados a gran escala muestran que no hay consenso acerca del comportamiento en cuanto a avenidas en el futuro (Kundzewicz et al., 2017).

Las proyecciones climáticas suministran series temporales de un conjunto de variables generadas mediante Modelos de Clima Global (MCG), que simulan el comportamiento dinámico de la atmósfera. Sin embargo, los MCG tienen una resolución muy baja para ser utilizados en estudios de impacto. Para tener en cuenta los procesos hidrológicos relevantes a escala de cuenca, se suelen utilizar técnicas de downscaling que permiten conseguir una resolución adecuada. Existen dos tipos de downscaling: (i) downscaling dinámico, que se basa en Modelos de Clima Regional (MCR) con una resolución mucho mayor y que utilizan como condiciones de contorno las salidas de los MCG; (ii) downscaling estadístico, que trata de establecer semejanzas estadísticas entre las variables atmosféricas de los modelos y los datos observados. Además, las proyecciones de las variables climáticas suelen presentar funciones de densidad de probabilidad que no se ajustan a las de los datos observados en el periodo de control, provocando alteraciones estadísticas sistemáticas respecto a los valores esperados (Teutschbein et al., 2013). Como consecuencia normalmente es necesario realizar una corrección del sesgo, con el objetivo de asemejar las salidas de los modelos con los datos observados.

En España, se dispone de una serie de proyecciones climáticas regionalizadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) a escala nacional, mediante dos métodos de downscaling estadístico, suministrando los resultados en una serie de puntos que coinciden con la localización de una serie de pluviómetros (http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat). Esta comunicación recoge el análisis de la utilidad de dichas proyecciones climáticas para realizar estudios de impacto del cambio climático sobre la ley de frecuencia de avenidas en España. Se han obtenido los principales estadísticos de las series temporales de precipitación y temperatura suministradas por el AEMET en periodo de control (1961-2000), así como de los datos observados en los pluviómetros utilizados. Como AEMET suministra los resultados de la regionalización por estaciones en vez de por cuadrículas (como las salidas de los modelos climáticos), la comparación se ha realizado directamente. A partir de esta información, se ha generado una serie de mapas a escala nacional que muestran los errores en media, coeficiente de variación y coeficiente de sesgo, de la serie completa de datos y de la serie de máximos anuales, así como del número de días sin lluvia, donde se pueden observar tendencias regionales y patrones generales de comportamiento. De esta manera se puede comprobar si los datos obtenidos por la regionalización del AEMET siguen las mismas tendencias a gran escala que los resultados de otros estudios que han utilizado los datos suministrados por el proyecto CORDEX (Jacob et al., 2013).

Para evaluar la utilidad de las proyecciones del AEMET en estudios de impacto del cambio climático en el comportamiento de avenidas, se han utilizado como dato de entrada del modelo hidrológico HBV, previamente calibrado en una

serie de cuencas situadas en la cuenca del río Ebro con el objetivo de examinar su ajuste con los caudales observados. No solo se examinarán los valores medios sino también los valores máximos, mediante la utilización de las series de máximos caudales anuales y las series parciales o de máximos sobre un umbral, que permiten evaluar la adecuación en cuanto a la estacionalidad de las avenidas. Asimismo, se ha analizado el cambio de la ley de frecuencia de avenidas en dichas cuencas en el futuro, mediante la utilización de las proyecciones climáticas en el periodo 2006-2100 como dato de entrada del modelo HBV.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo ha sido realizado bajo la financiación del proyecto CGL2014-52570 ‘Impacto del cambio climático sobre la ley de frecuencia bivariada de avenidas’ concedido por el Ministerio de Economía y Competitividad.

Los autores también quieren agradecer a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) además de al proyecto CORDEX por facilitar las series temporales de precipitación y temperatura utilizada en este estudio.

REFERENCIAS

- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B. and Yiou, P., 2013. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14, 563-578. DOI: 10.1007/s10113-013-0499-2.
- Kundzewicz, Z.W., Krysanova, V., Dankers, R., Hirabayashi, Y., Kanae, S., Hattermann, F.F., Huang, S., Milly, P.C.D., Stoffel, M., Driessen, P.P.J., Matczak, P., Quevauviller, P. and Schellnhuber, H.-J., 2017, Differences in flood hazard projections in Europe – their causes and consequences for decision making. *Hydrological Sciences Journal*, 62:1, 1-14, DOI: 10.1080/02626667.2016.1241398
- Teutschbein, C., Seibert, J., 2013, Is bias correction of regional climate model (RCM) simulations possible for non-stationary conditions?. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 5061-5077.

Predicción de inundaciones originadas por precipitaciones extremas mediante el módulo hidrológico de Iber

González-Cao, J.^{a1}, García Feal, O.^{a2}, Crespo, A.J.C.^{a3}, Gómez-Gesteira, M.^{a4}, y Cea, L.^b

^aEnvironmental Physics Laboratory (EPHYSLAB), Universidad de Vigo, Campus As Lagoas s/n, 32004, Orense, España: ^{a1}jgcao@uvigo.es, ^{a2}orlando@uvigo.es, ^{a3}alexboxe@uvigo.es, ^{a4}mggesteira@uvigo.es.

^bEnvironmental and Water Engineering Group, Departamento de Ingeniería Civil, Universidade da Coruña, Campus Elviña s/n, Coruña, España: luis.cea@udc.es

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Durante las últimas décadas, en el nordeste de España, tanto áreas públicas como propiedades privadas se han visto afectadas por grandes inundaciones originadas por eventos de precipitaciones extremas. Por ejemplo, las precipitaciones registradas el 20 de Octubre de 2012 en las proximidades de la cabecera del río Aragón superaron los 200 mm en 24 horas causando daños de envergadura en las localidades de Canfranc, Villanúa y Castiello de Jaca. Las administraciones públicas destinaron más de 1M de euros para la recuperación de las márgenes del río en dichas localidades. En la Figura 1 se muestra la localización geográfica de la zona de inundación y el hietograma registrado durante el evento.

Las inundaciones originadas por eventos de precipitaciones extremas están asociadas, principalmente, a fenómenos de escorrentía. Son varios los factores que pueden influenciar de alguna manera estos procesos de escorrentía. Por ejemplo, algunos de ellos son la intensidad de la precipitación, su duración y su distribución espacial, las características topográficas del terreno en el cual se produce la precipitación así como los usos y tipos de suelo de la zona.

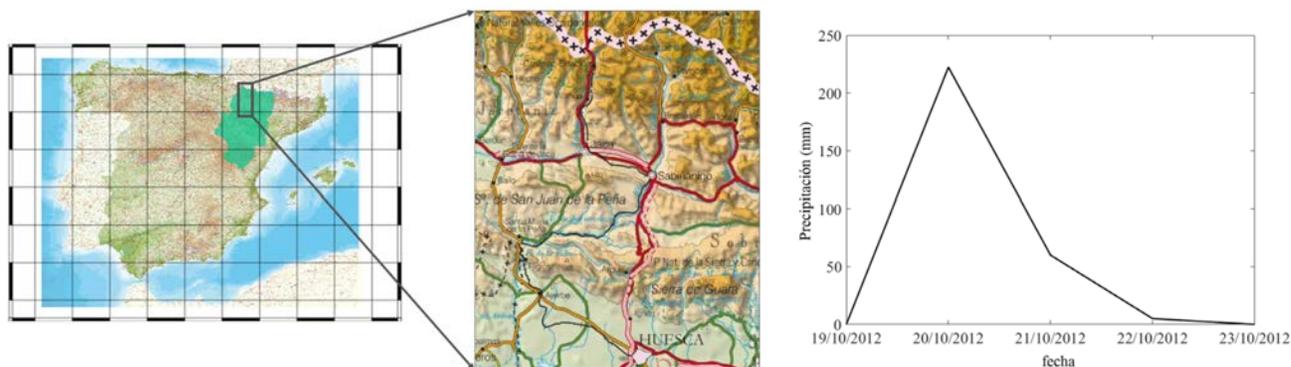


Figura 1 | Localización geográfica de la zona de inundación (panel izquierdo) e hietograma registrado durante el evento de precipitación extrema (panel derecho).

En este trabajo, se ha empleado el código numérico Iber (Bladé et al. 2014) para simular el evento de precipitación extrema observado el día 20 de Octubre de 2012 en la zona de Villanúa. Como condiciones frontera del modelo se han empleado tanto los hietogramas como los hidrogramas experimentales obtenidos de las estaciones meteorológicas que la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) tiene situadas en la cuenca del río Aragón. La topografía de la cuenca del río Aragón se ha obtenido mediante una serie de ficheros *raster* obtenidos de Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Para analizar el efecto de los usos del suelo en los resultados obtenidos con Iber se ha desarrollado una nueva herramienta que, a partir de los datos de usos de suelo definidos por el Sistema de Información sobre Ocupación del suelo de España (SIOSE), asigna de forma automática un único coeficiente de Manning a cada punto de la malla definida en el dominio numérico de la simulación. Los resultados obtenidos empleando esta herramienta se comparan con los obtenidos asignando manualmente los usos de suelo a los elementos de la malla. Además, se analizan los efectos de la infiltración de la precipitación

en el terreno. Este modelo de infiltración, basado en el método de Número de Curva (McCuen, 1982) del Servicio de Suelos (SCS) de los EEUU, se ha implementado a partir de los ficheros *raster* de topografía del terreno, usos del suelo obtenidos a partir de los datos del SIOSE y de los datos de tipos de suelo obtenidos a partir de una serie de mapas de European Soil Data Centre (ESDAC). Los efectos de la asignación de usos de suelo a partir de los datos del SIOSE y de la asignación de la infiltración del terreno muestran una influencia significativa en los resultados numéricos obtenidos con Iber.

Los resultados numéricos de calado son similares a los observados experimentalmente durante el evento. Además dichos valores experimentales son mayores que los obtenidos para un periodo de retorno de 500 años.

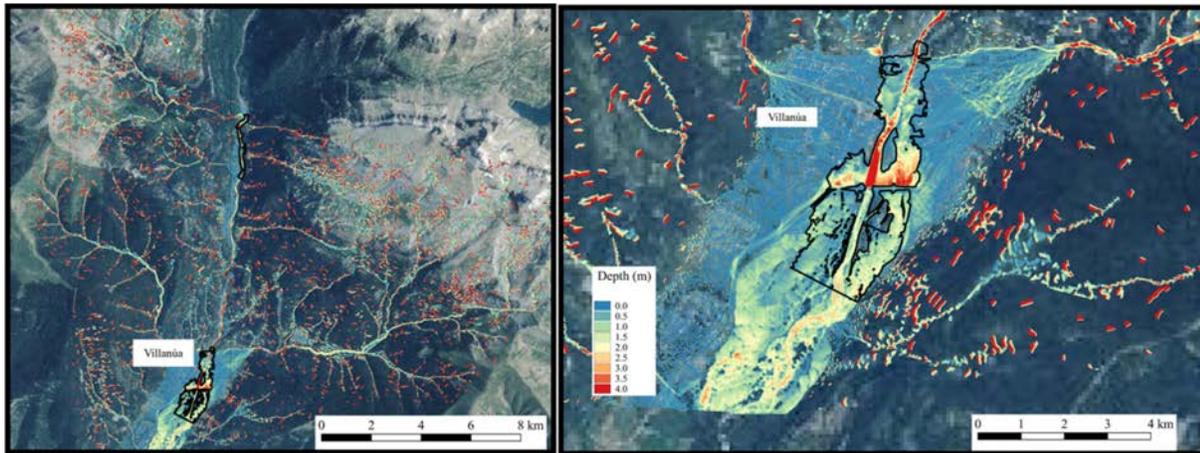


Figura 2 | Resultados numéricos de calado (escala de colores) y zonas inundadas para un periodo de retorno de 500 años (área delimitada) para la cuenca del río Aragón (panel izquierdo) y para la zona cercana a la localidad de Villanúa (panel derecho).

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo por parte del proyecto “IMDROFLOOD” (Water JPI – WaterWorks 2014).

REFERENCIAS

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A. 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* 30(1), 1-10.
- McCuen, R.H. 2002. *A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods*. Prentice-Hall.

Volumen Óptimo para un sistema de Captación de Agua de Lluvia en la FES Acatlán

Herrera, J.^{a1}, Arganis, M.^{a2} y Domínguez, R.^{a3}

^aInstituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000. Delegación Coyoacán, Ciudad de México, México. CP. 04510. E-mail: ^{a1}jherreraa@iingen.unam.mx, ^{a2}rdominguezm@iingen.unam.mx, ^{a3}acapella@prodigy.net.mx.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

Introducción

La Facultad de Estudios Superiores Acatlán de la UNAM (FES Acatlán) inició un proyecto universitario para ver la factibilidad técnica y económica de implementar un sistema de Captación de agua de lluvia y sustituirla por la extracción de pozo del cual se abastece.



Figura 1 | Vista aérea de la FES Acatlán.

La FES Acatlán cuenta con un área de 0.31 km², de los cuales el 14% corresponde a edificios y el restante a áreas verdes y estacionamientos. El número de usuarios es de 23000 que incluye a estudiantes, académicos y administrativos.

El suministro de la FES Acatlán es a través de un pozo que tiene una profundidad de 190 m y es operado con una bomba sumergible de 5.6 kW y un gasto de 0.02m³/s. De la bomba se descarga a un tanque de almacenamiento con capacidad de 1300 m³. Este tanque está conectado a un dispositivo hidroneumático de 7.5 kW.

Metodología

Para el análisis de la precipitación, se utilizó la estación 15127 (CICESE, 2017) ubicada a 2.5 km de la FES Acatlán. Esta estación presenta 31 años completos. Una vez obtenida la información se procedió de la siguiente metodología.

1. Análisis diario de la precipitación.
2. Cálculo de la lluvia efectiva, en mm. Esta se obtuvo con el uso de la Curva N.
3. Obtención de la lluvia aprovechable, en mm con la siguiente expresión (Herrera, 2017).

$$Lluvia\ aprovechable = Lluvia\ efectiva - lluvia\ de\ lavado \quad (1)$$

4. Consumo diario de agua en la FES Acatlán, en m³.

$$Consumo = Dotación * Población \quad (2)$$

5. Cálculo de volumen almacenado en m³.

$$Volumen = Lluvia\ aprovechable * \text{área de captación} - Consumo \quad (3)$$

6. Generación de lluvia sintética diaria para 100 años. Y se repitió los pasos 2 al 4

Conclusiones

Debido al régimen de lluvias que se presenta en la FES Acatlán, una parte de las lluvias más importantes ocurren en periodo de vacaciones. Esto conlleva a grandes volúmenes de almacenamiento que es un elemento que impacta en mayor medida a la parte económica.

El utilizar la lluvia aprovechable en lugar de la lluvia efectiva lleva a diseños más realistas ya que la lluvia efectiva puede sobredimensionar alrededor de 3 veces más el volumen de almacenamiento.

REFERENCIAS

Herrera, J., Aragón, J., Arganis, M., Pavía, P., 2017. *Estimación de lámina de lluvia aprovechable para un sistema de captación de agua de lluvia en la FES Acatlán*. XXIII Congreso Nacional de Hidráulica, Marzo, Acapulco, México.

CICESE, 2017, *Datos climatológicos*. <http://clicom-mex.cicese.mx>

Actualización de las avenidas de diseño y tránsito de las avenidas por los vasos del sistema de presas del río Santiago

Hincapié, C.^a, Domínguez, R.^b y Arganis, M.^c

Instituto de ingeniería UNAM, Edif. 5. Circuito Escolar S/N, Ciudad Universitaria. Coyoacán, México D.F., 04510. E-mail ^achincapiel@ingen.unam.mx, ^brdominguezm@ingen.unam.mx y ^cmarganisj@ingen.unam.mx

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

El diseño de las presas requiere de la estimación de eventos asociados a diferentes periodos de retorno, que dependen del tamaño y de la vida útil de las estructuras. Durante la operación de las obras se presentan cambios en las variables hidrológicas por la ocurrencia de eventos extremos, este factor, junto con el incremento de información hidrométrica y climatológica, y en general un mejor conocimiento de las cuencas, hace necesaria la revisión periódica de las políticas de operación de extracción de los vertedores de las presas y de sus avenidas de diseño.

Sobre el río Santiago existe un sistema de presas en cascada, formado por Santa Rosa, La Yesca, El Cajón y Aguamilpa (Figura 1), cuyo objetivo principal es la generación de energía eléctrica. En este estudio se amplió la información hidrológica disponible de la zona, se actualizaron las avenidas de diseño y las políticas de extracción por la obra de excedencias.

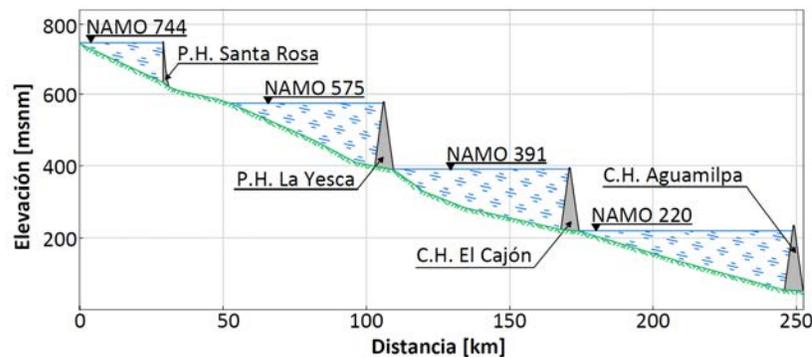


Figura 1 | Sistema de presas en cascada del río Santiago.

Se realizó un análisis de frecuencia de las series de datos de ingreso por cuenca propia de cada presa y se estimaron los eventos asociados a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años. Se actualizaron las avenidas de diseño de las presas La Yesca, El Cajón y Aguamilpa para diferentes periodos de retorno, y se establecieron políticas de extracción de las obras de excedencias de manera que los niveles en los embalses no rebasen el NAME.

Para el tránsito de las avenidas en el sistema de presas del río Santiago se tiene en cuenta que el sistema es en cascada, por lo tanto:

- El hidrograma de entrada a la presa La Yesca es la avenida de diseño obtenida para la cuenca total de la Yesca.
- El hidrograma de entrada a la presa El Cajón corresponde al hidrograma de salida de la presa La Yesca.
- El hidrograma de entrada a la presa Aguamilpa corresponde al hidrograma de salida de la presa El Cajón más la avenida de diseño obtenida para las aportaciones por cuenca propia de Aguamilpa.

Las crecientes máximas que se presentan en la cuenca del río Santiago no se presentan en forma simultánea en toda la cuenca debido a su extensión territorial. Es decir, no es frecuente que se presenten eventos hidrometeorológicos extremos simultáneos en la zona de estudio, y menos probable es que dichos eventos correspondan a periodos de retorno similares; el centro de la tormenta ocurriría en alguna de las cuencas de aportación y las láminas de precipitación en las demás serían menores.

Para definir la aportación simultánea de los escurrimientos de la cuenca total La Yesca y la cuenca propia de Aguamilpa, se siguió el procedimiento basado en factores de simultaneidad propuesto por Domínguez (2000); que, en este caso se aplicó de la manera siguiente:

Se sumaron los registros de aporte de cada cuenca por día, obteniendo una nueva serie de datos que representa el caudal que “en forma teórica” debería llegar hacia aguas abajo del sistema (cuenca total Aguamilpa, ver Figura 1). Para cada cuenca, así como para la suma, se ajustaron funciones de distribución de probabilidad y se obtuvieron los eventos de diseño asociados a diferentes periodos de retorno y las avenidas de diseño para cada uno de ellos.

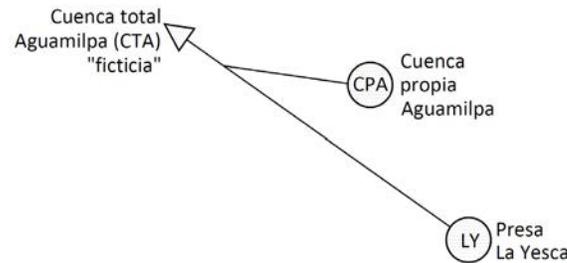


Figura 2 | Esquema del sistema.

En teoría, la suma de los caudales aportados por cada cuenca por separado para un período de retorno dado, por ejemplo para 10000 años, no debería ser mayor que la suma de las aportaciones simultáneas correspondiente al mismo período de retorno. Esto en la práctica no ocurre, en la Figura 3 se presentan las curvas gastos-duración para periodos de retorno de 10000 años de la cuenca total La Yesca (LY), la cuenca propia Aguamilpa (CPA), la cuenca total Aguamilpa y la suma de la cuenca total La Yesca más la cuenca propia de Aguamilpa (LY+CPA); se observa que si se suman las aportaciones de La Yesca y de la cuenca propia de Aguamilpa (como si ocurrieran simultáneamente), se obtienen gastos más grandes que los obtenidos para la cuenca total de Aguamilpa; por lo tanto es necesario reducir los gastos de las aportaciones de cada cuenca mediante un factor de ajuste.

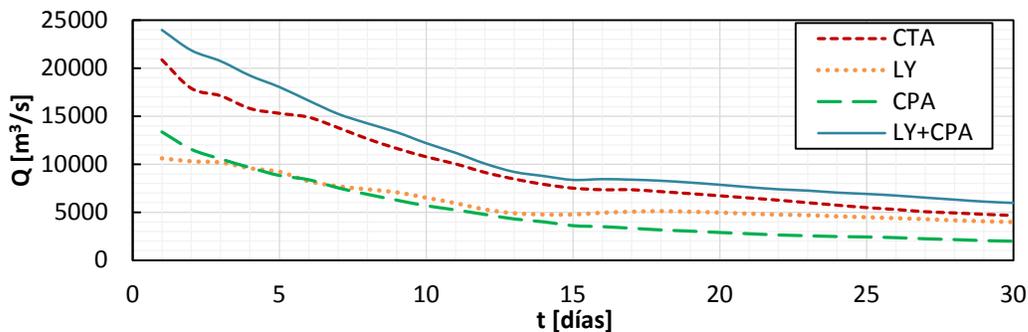


Figura 3 | Curvas gastos-duración-periodo de retorno. $T_r=10000$ años.

Se realizó el tránsito de las avenidas en el sistema de acuerdo con un análisis de simultaneidad, obteniendo factores de reducción para cada hidrograma de cada escenario analizado (considerando la creciente concentrada en La Yesca y la creciente concentrada en la cuenca propia de Aguamilpa). De acuerdo con los resultados obtenidos el nivel en el embalse de las presas La Yesca y El Cajón no superan el NAME, pero en la presa Aguamilpa este es excedido; por lo tanto, se propone realizar modificaciones para garantizar la seguridad de la presa Aguamilpa.

REFERENCIAS

Domínguez, M. R., Carrizosa, E. E., Fuentes, M. G. E. y Arganis, J. M. L. 2000. *Estudio hidrológico de la cuenca baja de los ríos Grijalva y Usumacinta del estado de Tabasco*. Elaborado para CFE por el Instituto de Ingeniería UNAM. México.

Análisis hidroquímico comparativo de la formación de los lagos mineros de As Pontes y Meirama (España)

Juncosa, R.^{a1}, Delgado, J.^b, Cereijo, J.L.^{a2} y García, D.^{a3}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}ricardo.juncosa@udc.es, ^{a2}jose.cereijo@udc.es, ^{a3}david.morrondo@udc.es.

^bGrupo Lamerock, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^bjdelgado@udc.es.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Las antiguas minas de lignito de As Pontes y Meirama está situadas en el Noroeste de España, a una distancia aproximada de 80 km entre ellas. Ambas finalizaron su actividad extractiva a finales de 2007, comenzando el llenado de los huecos mineros respectivos, originados a cielo abierto, a comienzos de 2008. El proceso de llenado, a partir de la desviación de los ríos próximos, ha sido desigual en ambos casos, tardando unos 4 años y medio el llenado completo de los 547 hm³ del hueco de As Pontes y 8 años y dos meses los 146 hm³ del hueco de Meirama. En ambos lagos se ha establecido un regimen hidrológico estacionario, en el cual el volumen de agua del hueco lleno se mantiene constante. Por otro lado, dada la similitud geológica, climatológica y agroforestal del entorno de ambos huecos y que la profundidad maxima alcanzada por la lamina libre es la misma (205 m), se espera obtener un comportamiento hidroquímico muy parecido en ambas masas de agua. Así, una vez finalizado el llenado de ambos huecos se ha realizado un estudio hidroquímico y limnológico comparativo sobre el estado de las aguas de ambos lagos, analizando los perfiles hidoquímicos de los elementos y compuestos más representativos del sistema, así como la estratificación química generada.

Optimización de costos de bombeo en redes de distribución de agua con capacidad de almacenamiento mediante el uso del concepto de curva de consigna

Christian-F. León-Celi^{a1}, Pedro L. Iglesias-Rey^{a2}, F. Javier Martínez-Solano^{a3} y Dragan Savic^b

^aDepartamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 - Valencia, España. E-mail: ^{a1}clnival@yahoo.es, ^{a2}piglesia@upv.es, ^{a3}jmsolano@upv.es

^bCentre for Water Systems. University of Exeter. North Park Road Exeter EX4 4QF UK. Email: d.savic@exeter.ac.uk

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Actualmente, los elevados costos de la energía siguen siendo un problema para los sistemas de bombeo ya que estos representan una gran parte de los gastos de operación en las redes de distribución de agua. Han sido muchos los esfuerzos realizados para reducir tales costos, algunos de ellos relacionados con la optimización de los horarios de bombeo, de los niveles de los tanques de almacenamiento, número de arranques de las bombas, control de la eficiencia del sistema de bombeo, uso de bombas de velocidad variable, entre otros. Adicionalmente, para la toma de decisiones se han empleado diversos algoritmos de optimización evolutivos (colonia de hormigas, algoritmos genéticos, harmony search) así como sus posibles combinaciones. Sin embargo, gran parte de los trabajos de optimización realizados están basados en el uso de la curva resistente de la red o curva del sistema, la cual está asociada a la máxima y mínima demanda de la red así como a su configuración de operación. Por lo tanto, este trabajo presenta un nuevo enfoque respecto de la optimización de costos de bombeo, en el cual es necesario encontrar la **curva de consigna** (Martínez-Solano et al. 2014; León-Celi et al. 2016) de cada una de las fuentes de descarga. Esta curva, representa la mínima altura de bombeo necesaria en cada estación de bombeo para entregar un determinado caudal manteniendo la mínima presión posible en el nudo crítico de la red (nudo con la presión más baja) a la vez que se satisface la demanda. De esta forma al mantener la mínima altura de bombeo se reducen tanto el uso de energía como los costos.

Para encontrar los puntos de altura de presión y caudal correspondientes a cada **curva de consigna** es necesario llevar a cabo un análisis dinámico mediante el software EPANET a través de su herramienta Toolkit. Para ello, se debe contar con un modelo suficientemente preciso de la red de distribución. La red debe estar conformada por lo menos por un tanque de depósito y una estación de bombeo. Es importante mencionar que, durante el proceso de análisis el sistema de bombeo es desconocido, y por tanto las bombas son representadas como nudos de inyección. El paso a seguir, consiste en asignar los caudales de descarga a cada nudo de inyección, de forma que las variables dependientes sean las alturas de presión necesarias en cada nudo para abastecer el caudal asignado. Este proceso se puede realizar varias veces mediante prueba y error hasta lograr que se cumplan las restricciones del sistema (almacenamiento, presiones mínimas, etc.). No obstante, este procedimiento solo contempla la energía específica de los nudos de inyección. Por tanto, es necesario además considerar las tarifas eléctricas mediante la formulación de una función objetivo a minimizar.

La función está compuesta de cuatro términos: el costo del bombeo, el costo del agua tratada, un término de penalización por incumplimiento de presiones, y uno por incumplimiento respecto a los volúmenes de almacenamiento que se deben mantener en los depósitos de la red. El costo del bombeo se calcula como el producto de la potencia de bombeo y las tarifas eléctricas que dependen de la hora del día. El costo del agua tratada se refiere a los costos adicionales que supone el utilizar una fuente de abastecimiento u otra, tales como: costos de reactivos en el tratamiento, costo de la energía usada en el tratamiento, entre otros que se consideren relevantes. Los costos de penalización aumentan el valor de la función objetivo siempre y cuando se incumplan las restricciones de presión o de volumen en los tanques de reserva impuestas desde el inicio del análisis.

Por otra parte, este tipo de problema supone el análisis de un gran número de variables: el caudal de descarga asignado a cada estación de bombeo para cada instante del periodo de simulación. Por lo tanto, para la obtención de las variables de

decisión se ha empleado el algoritmo de optimización *Differential evolution* (Storn & Price 1997), que responde a un problema de búsqueda directa multidimensional no lineal. Hay que mencionar que, el presente trabajo no busca optimizar la velocidad de cálculo a través del uso y contraste de distintos algoritmos, sino más bien la aplicación y validación de la metodología propuesta.

Finalmente, como caso de estudio se ha realizado el análisis de la red Anytown (Walski et al. 1987). Esta red está compuesta por un sistema de bombeo y cuatro depósitos de almacenamiento y que debido a su constante estudio puede proporcionar puntos de referencia para el análisis de resultados. En la Figura 1 se puede observar una comparación entre la sistema de bombeo existente del problema original (SBE) y los puntos de la curva de consigna así como su tendencia (CC) tras la aplicación de la metodología propuesta. Los resultados muestran el ahorro energético y de costos al encontrar la mínima altura de bombeo necesaria para satisfacer la demanda.

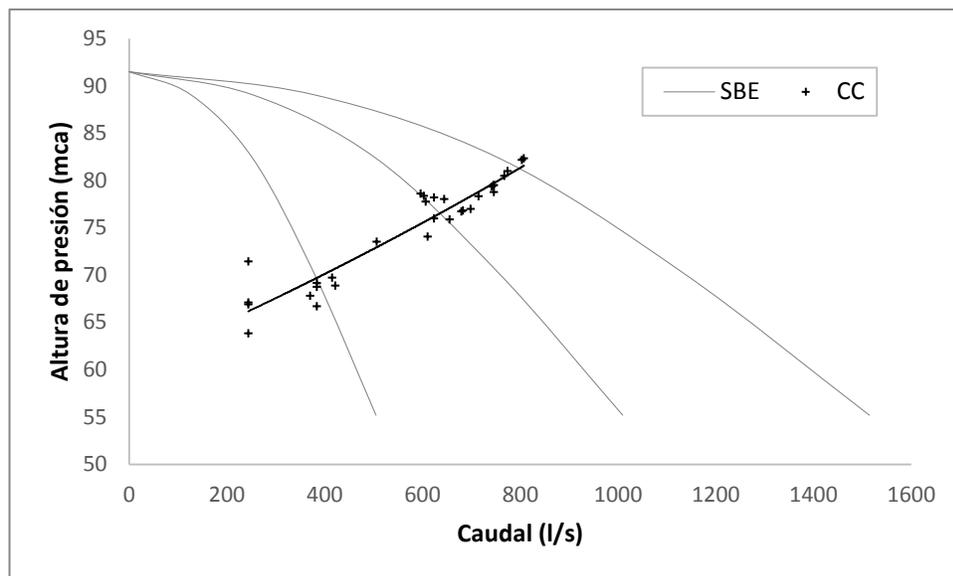


Figura 1 | Comparación entre las curvas del sistema de bombeo existente (SBE) y los puntos obtenidos de la curva de consigna (CC).

REFERENCIAS

- León-Celi, C. et al., 2016. A Methodology for the Optimization of Flow Rate Injection to Looped Water Distribution Networks through Multiple Pumping Stations. *Water*, 8(12), p.575.
- Martínez-Solano, F.J. et al., 2014. Using the Set Point Concept to Allow Water Distribution System Skeletonization Preserving Water Quality Constraints. *Procedia Engineering*, 89, pp.213–219.
- Storn, R. & Price, K., 1997. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, 11(4), pp.341–359.
- Walski, T.M. et al., 1987. BATTLE OF THE NETWORK MODELS: EPILOGUE. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 113(2), pp.191–203.

Atenuación de luz en embalses del sur-este de la Península Ibérica

León-Palmero, E.^{a1}, Reche, I.^{a2} y Morales-Baquero, R.^{a3}

^aInstituto del Agua & Departamento de Ecología, Universidad de Granada, 18071 Granada
E-mail: ^{a1}eleonpalmero@ugr.es ^{a2}ireche@ugr.es ^{a3}rmorales@ugr.es

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

La penetración de la radiación solar fotosintéticamente activa (PAR) en los sistemas acuáticos determina su estructura vertical en cuanto a la capacidad neta de producir o descomponer biomasa y es, por tanto, un factor fundamental en el funcionamiento de estos sistemas. Esta penetración depende de la absorción luminosa debida al agua misma, pero depende especialmente de la absorción debida a los componentes disueltos y de la debida a los componentes en suspensión (vivos o inertes). Ambos componentes determinan también la calidad del agua según el uso y gestión humanos que se hace de ella. Por eso, desde hace tiempo se han establecido relaciones entre la penetración de la luz en los sistemas acuáticos, su transparencia, y diversos criterios para establecer la calidad de las aguas (Carlson, 1977).

La transparencia de los sistemas acuáticos se mide habitualmente mediante la profundidad de visión del disco de Secchi (DS) o mediante radiómetros subacuáticos para calcular el coeficiente de extinción vertical de la luz (K_d). Ambos métodos se han usado para determinar la profundidad de compensación, o profundidad donde la producción primaria iguala a la respiración, que marca el límite de la zona fótica. La dispersión y absorción de la luz debida a los componentes en suspensión y la absorción debida a los componentes disueltos pueden afectar de forma diferente a DS y K_d . Así, aunque se han tratado de establecer equivalencias generales entre DS y K_d la variabilidad de los componentes disueltos y en suspensión en distintos cuerpos de agua, incluso dentro de una misma región geográfica, no han permitido validar los valores propuestos para el producto de $K_d \cdot DS = 1.7$ (Poole and Atkins, 1929); 1.44 (Holmes, 1970); 1.16 (French et al, 1982), aunque debido a la simplicidad de las medidas con el disco de Secchi, aún se siguen usando como aproximaciones en algunos estudios (Tundisi y Tundisi, 2011; Rodriguez, 2016).

Nuestro propósito en este trabajo es el de estudiar las propiedades ópticas de un conjunto de 12 embalses del sur-este de la Península Ibérica, que difieren en sus características físicas, químicas y tróficas, para: a) evaluar la diversidad óptica natural mediante medidas pareadas de K_d y DS; b) estudiar las relaciones entre K_d y DS en el conjunto de embalses y su utilidad para establecer la zona fótica y b) analizar las relaciones regionales entre las propiedades ópticas de los embalses y constituyentes del agua ópticamente relevantes como la turbidez, la clorofila-a medida por fluorescencia y la materia orgánica disuelta medida como carbono orgánico disuelto (DOC).

La figura 1 muestra la localización de los embalses estudiados y la tabla 1 alguna de sus características morfológicas. En cada embalse se tomaron medidas de penetración de la luz, turbidez y fluorescencia mediante una sonda perfiladora multiparamétrica SeaBird y, paralelamente, se midió la transparencia del agua con el disco de Secchi. Los embalses se muestrearon una vez durante los meses de febrero a abril de 2017, época en la que todos ellos estaban mezclados. Tres de los embalses fueron muestreados, además, en septiembre y octubre de 2016, época en la que estaban estratificados.

Los embalses mostraron un amplio rango de valores en las variables estudiadas. El DS varió entre 1m en el embalse de Cubillas y 9 m en el embalse de Rules, mientras K_d osciló entre 0.819 m^{-1} en Cubillas y 0.18 m^{-1} en el embalse del Portillo. Por su parte el producto de ambas variables $K_d \cdot DS$ ofrece valores entre 0.83 en el embalse de Francisco Abellán y 2.16 en el embalse de Rules, lo que supone un rango que sobrepasa ampliamente los valores comúnmente usados mencionados mas arriba. Si bien nuestros valores son puntuales frente a los valores promediados que se han citado previamente, las diferencias tan grandes invitan a estudiar sus causas. En este sentido, la influencia de la turbidez, de la clorofila-a y del DOC se han evaluado especialmente en este trabajo.

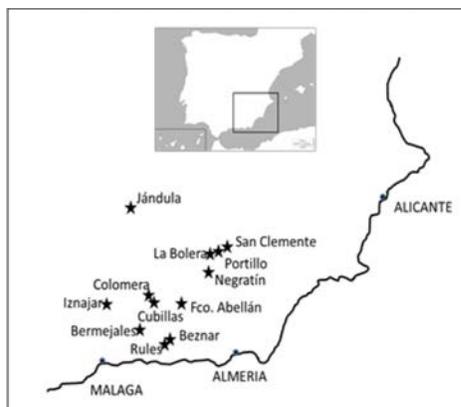


Figura 1 | Localización de los embalses estudiados.

Tabla 1 | Características de los embalses estudiados

Embalse	Año construcción	Altitud (m)	Volumen (hm ³)	Superficie (ha)	Sup. captación (km ²)
Cubillas	1956	640	19	194,00	626
Colomera	1990	810	40	249,30	245
Negratin	1984	618	567	2170,00	3877
La Bolera	1967	950	53	265,00	163
Bermejales	1958	852	103	562,00	307+68,15
Iznajar	1969	425	981	2521,70	5000
Fco. Abellán	1991	942	58	231,00	184,4
Béznar	1986	486	53	170,00	346,89
San Clemente	1990	1050	118	622,00	574
El Portillo	1999	920	33	143,00	112,87
Rules	2003	239	111	309,00	731,88
Jándula	1932	350	322	1350,00	1546,66

AGRADECIMIENTOS

La financiación para el presente trabajo fue obtenida del Ministerio de Economía y Competitividad, referencia: CGL2014-52362-R ELP cuenta con un contrato predoctoral de Formación de Profesorado Universitario (FPU014/02917).

REFERENCIAS

- Carlson, R.E. 1977. A trophic index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22: 361-369
- French, R.H., Cooper, J.J. y Vigg, S. 1982. Secchi disk relationships. *Water Resources Bulletin* 18: 121-123.
- Holmes, R.W. 1970. The Secchi disk in turbid coastal waters. *Limnology and Oceanography* 15: 688-694
- Poole, H.H. y Atkins, W.R. 1929. Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. *Journal of Marine Biological Association U.K.* 16: 297-394
- Rodríguez, J. 2016. *Ecología. Pirámide*. Madrid
- Tundisi, J.C. y Matsumura-Tundisi, T., 2011. *Limnology*. CRC Press, Boca-Ratón. USA

Análisis del comportamiento de una red colectiva de riego considerando la programación de riego en parcela

Lima, F.A.^{a1}, Martínez-Romero, A.^{b2}, Tarjuelo, J.M.^{a3}, Córcoles, J.I.^{b4}

^aCentro Regional de Estudios del Agua, Campus Universitario s/n 02071, Albacete, España; ^bEscuela de Ingenieros Industriales de Albacete, Campus Universitario s/n 02071, Albacete, España. E-mail: ^{a1}aldiel_metal@hotmail.com, ^{b2}angel.mromero@uclm.es; ^{a3}jose.tarjuelo@uclm.es, ^{b4}juanignacio.corcoles@uclm.es

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

En los últimos años la modernización de los sistemas de riego, pasando de los sistemas de gravedad a los sistemas presurizados, ha generado una reducción del consumo de agua y un aumento del consumo energético. Entre los años 1970 hasta el 2007, el consumo de agua de regadío disminuyó un 21% en España. En el mismo periodo, el consumo energético ha pasado de 206 a 1560 kWh ha⁻¹ (Corominas, 2010). En este sentido, Córcoles (2009) afirma que la falta de conocimiento acerca de la relación existente entre el nexo agua y energía, puede resultar en mayores gastos energéticos. En caso de redes colectivas de riego, este aspecto se torna imprescindible, ya que el uso colectivo de los recursos debe garantizar la sostenibilidad de los regadíos. El objetivo de este trabajo es desarrollar una herramienta de ayuda a la toma de decisiones para analizar el funcionamiento de una red colectiva de riego, para dos estrategias de riego en parcela (riego deficitario y no deficitario) y de manejo de la presión en cabecera (altura variable y fija), estableciendo una gestión de apertura y cierre de tomas que conduzca al menor coste energético en la estación de bombeo.

La metodología propuesta ha sido aplicada en la zona regable del Tarazona de La Mancha (Albacete, España), de 1044 ha, compuesta por dos redes colectivas de riego a la demanda independientes (Sector I y Sector II). En el sector de estudio (Sector I), la estación de bombeo consta de 9 bombas iguales (140 CV para cada bomba) acopladas en paralelo, dotadas dos de ellas con variador de velocidad. El Sector I abastece una superficie regable de 550,2 ha, con sistemas de riego en parcela por aspersión y goteo, con cultivos herbáceos extensivos, hortícolas y leñosos.

Durante los años 2015 y 2016, se han instalado equipos para controlar parámetros hidráulicos y eléctricos de la red y caracterizar su funcionamiento. Así, se ha realizado una monitorización continua de los parámetros eléctricos, utilizando un analizador de redes, modelo QNA-412 (Circutor, España), situado entre el transformador de media a baja tensión y la entrada a la estación de bombeo de la red. Además, en determinados periodos de la campaña de riegos, se ha medido por una parte con un analizador de redes modelo AR5 (Circutor, España) el consumo energético de cada una de las bombas a velocidad fija, y en las variables en su rango de trabajo y, por otra parte, el caudal descargado con un caudalímetro de ultrasonidos (PANAMETRICS® PT878), de forma sincronizada con el analizador. También se ha controlado la presión de trabajo a distintos niveles: a la salida de la estación de bombeo, en puntos estratégicos de la red y en parcelas de seguimiento de los cultivos. En todos los casos se ha realizado un registro continuo de la información, utilizando transductores de presión (Druck, Leicester, UK), con un rango de medida de 0 a 6 bar, conectados a un "datalogger" (Dickson, Addison, In, USA).

A partir de la distribución de los cultivos en parcela y con los datos climáticos registrados en una estación agroclimática completa (SiAR, 2016), se ha determinado los calendarios de riegos de los cultivos implantados en la zona, planteando dos programaciones de manejo de riego en parcela que demanden distinto volumen de agua, una sin déficit y otra con déficit hídrico en los cultivos. Los calendarios de riegos se han establecido utilizando el módulo de programación de riegos del programa MOPECO (Modelo de Optimización Económica del riego) (Dominguez et al., 2012), que aplica la metodología FAO (Allen et al., 1998).

Para realizar las simulaciones del comportamiento de la instalación en las que se han considerado dos condiciones de manejo de presión en cabecera, con altura fija o altura variable, se ha desarrollado una herramienta programada en MATLAB®

que utiliza el motor de cálculo de EPANET® (Rossman, 2000), implementado la red del Sector I, previamente calibrada (Moreno et al., 2007). Según los calendarios de riego establecidos por cultivo y parcela, que determinan el tiempo de riego, la herramienta simula en períodos de una semana, los días y las horas de apertura y cierre de cada toma de la red. Para ello, cada día se generan 5000 escenarios aleatorios de las horas de apertura de las tomas en parcela, seleccionando aquel escenario que conduzca al menor coste energético en la estación de bombeo.

Tras las simulaciones realizadas se observa que el consumo energético (kWh) es mayor cuando se fija como condición de trabajo una altura fija en cabecera, independientemente de la estrategia de riego en parcela. Considerando una semana de alta demanda hídrica en la red, la utilización de la estación de bombeo con altura fija en cabecera conduce a un aumento de aproximadamente un 10% del consumo energético con respecto al manejo con altura variable. En una semana de baja demanda, este porcentaje es de aproximadamente el 16%.

El coste energético también es mayor con el manejo de altura fija frente a la altura variable, independientemente de las condiciones de demanda global (estrategia de riegos en parcela con y sin déficit). Por ejemplo, para el año 2015, durante una semana de alta demanda en la estrategia de riego sin déficit, los costes semanales simulados fueron de 1480 € y de 1595 €, si se establecía una altura variable o fija en cabecera, respectivamente. Este ahorro puede no justificar el manejo de la estación de bombeo con altura variable frente a la fija, dada la complejidad asociada al control de la estación con altura variable.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del marco del el Proyecto AGL2014-59747-C2-1-R, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, (MINECO) (Co-financiado por fondos FEDER).

REFERENCIAS

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO. Rome, Italy.
- Córcoles, J.I. 2009. La gestión del agua y la energía en el regadío mediante técnicas de “Benchmarking”. Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. Universidad Castilla-La Mancha. Albacete, España.
- Corominas, J. 2010. Agua y energía en el riego en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería del Agua*. 17(3): 219–233.
- Domínguez, A.; Martínez, R.S.; de Juan, J.A.; Martínez-Romero, A.; Tarjuelo, J.M. 2012a. Simulation of maize crop behavior under deficit irrigation using MOPECO model in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*. 107: 42– 53.
- Moreno, M. A., Planells, P., Ortega, J. F., Tarjuelo, J. 2007. New methodology to evaluate flow rates in on-demand irrigation networks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4): 298-306.
- Rossman, L. A. 2000. EPANET 2, users’ manual. Water supply and Water Resources Division. National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati.
- SiAR. 2016. Consulta de datos meteorológicos. Servicio Integral de Asesoramiento al Regante de Castilla-La Mancha. Albacete, España. <http://crea.uclm.es/siar/datmeteo/>. Acceso en 07 de noviembre de 2016.

Determinación de los cuantiles de precipitación diaria en Navarra. Análisis comparativo entre el análisis regional de frecuencias y el local.

López, J.J.^{a1}, San Martín, I.^{a2}, Erro, J.^{a3} y Goñi, M.^{a4}

^{a1} Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural. Universidad Pública de Navarra, Campus de Arrosadía s/n. E-mail: ^{a1} jjlr@unavarra.es; ^{a2} ibansanmartin@gmail.com; ^{a3} juanerroslava@hotmail.com; ^{a4} mikel.gofii@unavarra.es.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

La determinación de la ley de frecuencias de precipitaciones y caudales máximos resulta imprescindible para el diseño de diferentes infraestructuras hidráulicas así como para el análisis y determinación de zonas inundables. El trabajo, cuyos resultados se presentan en esta ponencia, ha tenido como objetivo la determinación de los cuantiles de las precipitaciones diarias extremas en el territorio de la Comunidad Foral de Navarra, comparando el análisis regional con el local.

Tradicionalmente, las estimaciones se han llevado a cabo mediante análisis de frecuencia local, estudiando por separado cada una de las series de observaciones registradas en las diferentes estaciones pluviométricas. Sin embargo, la escasa longitud de los registros y la posible presencia de valores atípicos hacen que esta forma de proceder carezca, a menudo, de rigor. De acuerdo con Hosking y Wallis (1997), este problema puede resolverse “*paliando la carencia de datos en el tiempo con su abundancia en el espacio*”, pues son muchas las situaciones en las que se dispone de observaciones en diferentes estaciones cercanas entre sí. El análisis regional de frecuencias emplea el método del índice de avenida conjuntamente con el uso de los momentos lineales (*L*-momentos). Se trata de una metodología robusta aun en presencia de *outliers*, y su buen uso puede conducir a estimaciones suficientemente precisas en diversos problemas reales. A nivel nacional hay precedentes de trabajos en que aplican esta técnica (Jiménez y Mediero, 2009; Álvarez *et al.*, 1999; García-Marín, 2007).

Para el presente estudio se ha partido de todas las estaciones pluviométricas manuales localizadas en la Comunidad Foral de Navarra y en las comunidades vecinas y Francia próximas al límite de Navarra. En total se han utilizado un total de 142 estaciones: 86 de Navarra, 16 de Gipuzkoa, 6 de Araba, 7 de La Rioja, 9 de Zaragoza, 6 de Huesca y 12 de Francia. Estas estaciones fueron elegidas *a priori* por tener una duración de registro superior a 20 años, únicamente se ha incluido una serie de 19 años, la de la estación de Tarazona, por no disponer de muchas series en esa zona.

En el análisis regional de frecuencias (ARF), una vez depuradas las series, se obtuvieron los valores de la precipitación diaria máxima anual de las mismas y se calcularon sus *L*-momentos. Realizado un filtrado primario de las observaciones, obteniendo la discordancia de las series, y antes de proceder a ajustar las funciones de distribución, es necesario proceder a identificar las regiones homogéneas que se encuentran en la zona de estudio, cuyo objetivo es formar grupos de estaciones que satisfagan aproximadamente la condición de homogeneidad al objeto de compartir la misma distribución de frecuencias. Tal como recomienda Hosking y Wallis (1997), esta regionalización se ha realizado mediante un análisis clúster. De esta forma, se ha llegado al establecimiento de seis regiones homogéneas en Navarra.

Definidas las regiones, se procede a determinar la función de distribución más apropiada para cada una de ellas. Hosking y Wallis (1997) recomiendan la elección entre las siguientes cinco distribuciones: Logística Generalizada (GLO), General de Valores Extremos (GEV), General de Pareto (GPA), General Normalizada (GNO), y Pearson tipo III (PE3). Estos autores justifican la elección entre estas cinco distribuciones por el hecho de poseer tres parámetros, lo cual facilita el ajuste en un análisis regional al disponerse de observaciones de varias estaciones, y de incluir entre sus casos particulares las distribuciones más empleadas en el estudio de variables ambientales. Después de aplicar los test de bondad de ajuste y de estimar los errores cuadráticos medios, se obtiene que las funciones más robustas y con mejor ajuste en cada región son:

Región 1: Pearson Tipo 3 (PE3)

Región 2: Pearson Tipo 3 (PE3)

Región 3: General Logística (GLO)

Región 4: Pearson Tipo 3 (PE3)

Región 5: Pearson Tipo 3 (PE3)

Región 6: General Normalizada (GNO)

Los resultados de los cuantiles obtenidos mediante esta técnica del ARF son analizados y comparados con los resultados obtenidos mediante un análisis local de frecuencias convencional, donde se han utilizado las funciones más comunes. En la Figura 1 se presentan las isoyetas de precipitación diaria para periodo de retorno 50 con ambos métodos.

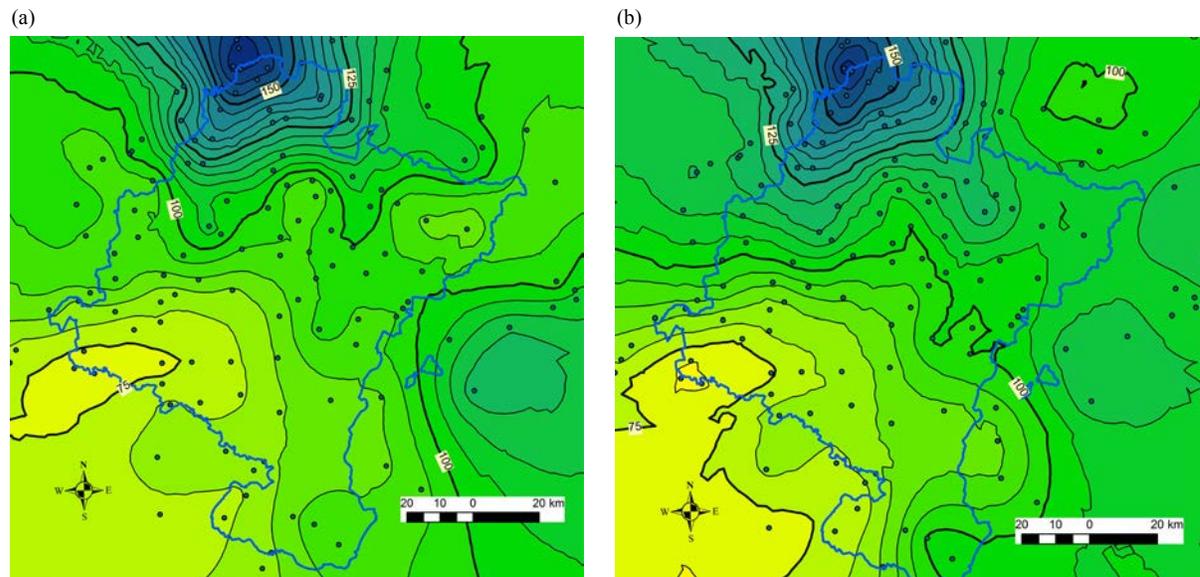


Figura 1 | Mapas de isoyetas de precipitación diaria para un periodo de retorno, T , de 50 años, por análisis frecuencias regional (a) y local (b)

REFERENCIAS

- Álvarez, M., Puertas Agudo, J., Soto, B., & Díaz-Fierros, F. (1999). Análisis regional de las precipitaciones máximas en Galicia mediante el método del índice de avenida. *Ingeniería Del Agua*, 1999, Vol.6, Núm.4.
- García-Marín, A. P. (2007). Análisis multifractal de series de datos pluviométricos en Andalucía Universidad de Córdoba, Servicio de Publicaciones.
- Hosking, J., & Wallis, J. (1997). *Regional frequency analysis: An approach based on L-moments* Cambridge University Press.
- Jiménez, A., Mediero, L. (2009): "Caracterización del comportamiento estadístico de los caudales máximos anuales y estacionales de los ríos de la España peninsular. Análisis y propuesta de procedimientos para su determinación". *Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX*. Jornadas sobre Ingeniería del Agua.

Calibración de un Sistema de Distribución de Agua Complejo a partir de variables SCADA

Martinez Alzamora, F.^a, Conejos, P.^b, Urban, P.^c

^a Catedrático de Ingeniería Hidráulica. E-mail: fmartine@hma.upv.es

^b Dr. Ing. Industrial. Responsable Departamento Regulación y Control de Red Agua en Alta. E-mail: pconejos@emimet.es

^c Ing. Agrónomo. Departamento de Regulación y Control de Red Agua en Alta. E-mail: purban@emimet.es

^a Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n 46022, Valencia, España.

^{b,c} Empresa Mixta Metropolitana, S.A. Grupo Aguas de Valencia. C/ Pedrapiquers, 4, 46014 Valencia, España

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Introducción

Hoy en día es esencial disponer del modelo hidráulico calibrado de un sistema de distribución de agua urbana para una gestión eficiente de la misma, especialmente cuando la red es muy compleja. La toma de decisiones en tareas tan variadas como evaluar la relación coste/beneficio para mejoras en la red, establecer políticas óptimas para la gestión de activos, evaluar la fiabilidad del suministro y la resiliencia de la red ante cualquier eventualidad, establecer protocolos de emergencia, evaluar la afección a los usuarios en condiciones de insuficiencia de presión, planificar operaciones de mantenimiento que afecten al servicio, implantar un uso eficiente del agua y la energía, controlar la calidad del agua que le llega al usuario, etc, se basa cada vez más en el análisis de los resultados obtenidos con el modelo hidráulico, tras realizar muchas simulaciones.

Pero calibrar el modelo de una red compleja con un elevado número de tuberías, en el que además concurren múltiples depósitos, estaciones de bombeo, y válvulas de regulación, automáticas o controladas remotamente, no es una tarea fácil. La mayoría de los problemas de calibración de redes tratados en la bibliografía corresponden a situaciones estáticas en momentos puntuales (situaciones punta) (Sophocleousa et al, 2016), o bien a modelos dinámicos de 24 horas restringidos a un periodo determinado, para el que previamente se ha realizado una labor de recopilación y filtrado de las medidas de campo a imponer o reproducir (Ostfeld et al, 2006). Sin embargo, hoy en día los sistemas SCADA permiten trabajar con modelos en tiempo real (Bou et al, 2011), en los que es posible realizar una calibración continua del modelo cada hora o cada día, teniendo en cuenta el estado de los depósitos y de los elementos de regulación en cada momento. Tal reto exige disponer de métodos de calibración automatizados, y que además sean fiables.

Metodología

El primer problema para la calibración del modelo de una red hidráulica se presenta a la hora de identificar los parámetros de ajuste más convenientes, ya que el número de éstos supera con creces al número de variables de medida. En principio los parámetros elegidos serán aquellos que afecten en mayor grado a los valores medidos, bien de forma individual o de forma agrupada. Entre los parámetros estáticos figuran las rugosidades de las tuberías, los coeficientes de pérdidas en las válvulas fijas, las curvas características de las bombas, y las cotas de los puntos de medida de presión. Sin embargo cuando los elementos de regulación se encuentran operativos y su estado cambia en cada instante, tales como el número de bombas activas o su velocidad de giro, el estado de estrangulación de las válvulas o el nivel del agua en los depósitos, los parámetros de ajuste deben ampliarse con las variables de estado del sistema, determinadas por la propia evolución del mismo (niveles en depósitos), por las consignas de operación impuestas por los controles locales (bombas y válvulas automáticas) o por la decisión de los operadores del sistema (bombas y válvulas de control remoto).

Ante este reto se propone la aplicación de una metodología de calibración basada primeramente en el equilibrado de los consumos por sectores, a partir de las medidas de los caudalímetros y de la distribución interna de las demandas en los nudos de cada sector. A continuación, para ajustar los restantes parámetros del modelo se propone declarar un conjunto de cortes de V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

calibración en puntos estratégicos del sistema, previamente identificados a partir del conocimiento del comportamiento de la red, y de las medidas de campo disponibles en los mismos, ya sea en tiempo real (conexión punto a punto) o en tiempo diferido (estaciones remotas provistas de data-loggers con transmisión diferida). Se contemplan hasta cuatro tipos de cortes de calibración, los cuales pueden situarse bien en las tuberías, o bien en los propios elementos de regulación. Dichos cortes delimitan los sectores a calibrar en cada momento, y su configuración determina los variables a imponer o a ajustar en cada sector, así como los parámetros de calibración más convenientes en cada caso.

Una vez determinados los sectores hidrométricos y los cortes de calibración, el proceso de identificación de los parámetros del modelo puede automatizarse, a fin de mantener el modelo siempre calibrado y reproducir así el comportamiento real de la red en todo momento, con lo que el modelo podrá ser utilizado para la toma de decisiones con total fiabilidad.

Resultados

El proceso de calibrado descrito ha sido aplicado con éxito a la red de suministro y distribución de agua de la ciudad de Valencia y su área metropolitana, disponiendo actualmente de un modelo hidráulico del sistema completo siempre ajustado y dispuesto para su uso en tiempo real. Dicho modelo es utilizado por los operadores de la red para simular escenarios en tiempo presente, pasado o futuro, como parte del Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (DSS). (Martínez et al, 2013)

El modelo matemático actual del SBM de Valencia es un modelo estratégico que alcanza hasta las tuberías de 200 mm. Tiene 625 km de longitud, 6.660 nodos, 28 depósitos, 47 bombas y 219 válvulas de regulación, de las cuales 115 son válvulas hidráulicas reductoras de presión y el resto válvulas motorizadas operadas desde el centro del control. Dicho modelo se alimenta a partir de las medidas recibidas en tiempo real y diferido a través del sistema de telemando, constituyendo un total 20.000 datos diarios con frecuencia horaria, u 80.000 datos diarios con frecuencia de 15 min, los cuales son filtrados automáticamente en una fase previa. A pesar del elevado número de medidas, el modelo actual ha sido calibrado para un día piloto de 24 horas siguiendo la metodología propuesta, con un error inferior al 2% para un total de 426 puntos de medida de la presión, e inferior al 4% para un total de 204 puntos de medida de caudal, habiendo reproducido además con exactitud las variaciones de nivel en todos los depósitos, y los estados de todas las bombas y válvulas.

El modelo, una vez calibrado, se ha utilizado para analizar el comportamiento de la red bajo diversos escenarios, para obtener una serie de indicadores basados en los balances continuos de agua y energía, como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la operación diaria del abastecimiento, en el análisis de escenarios de emergencia para la gestión temprana de alertas, o en la planificación del crecimiento de la red (Conejos et al, 2017).

REFERENCIAS

- Bou, V., Martínez, F., Conejos, P. (2006). SCA-Red, a general purpose SCADA application for taking decisions in real time with the aid of a hydraulic model. *8th Int. Conf. WDSA, Aug. 2006, Cincinnati, EEUU*
- Ostfeld, A. Salomons, E, et al (2012) Battle of the Water Calibration Networks. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 2012, 138(5) 523-532
- Martínez Alzamora, F., Bou, V., Conejos, P., Díaz, J. (2013). Conexión SCADA-modelo para la simulación en tiempo real del sistema de abastecimiento de agua a Valencia y su área metropolitana, *III Jornadas Ingeniería del Agua, JIA 2013*, 23-24 Octubre, Valencia
- Sophocleous, S., Savic, D., Kapelan, Z., Shenb, Y., Sage, P. (2016). A graph-based analytical technique for the improvement of water network model calibration. *12th International Conference on Hydroinformatics, HIC 2016, August 2016, Korea.*
- Conejos, P., Martínez Alzamora, F., Gamón, A., Urbán, P., Alonso, J.C (2017). La simulación hidráulica como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en Global Omnium – Grupo Aguas de Valencia. *XXXIV Jorn. AEAS, Mayo 2017, Tarragona*

Análisis del funcionamiento de un sistema hidroeléctrico en México con reglas de operación obtenidas para intervalos de tiempo mensual y quincenal.

Mendoza, R.^{a1}, Domínguez, R.^{a2} y Arganis, M.^{a3}

^a Instituto de Ingeniería (II), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Circuito Escolar s/n, Ciudad Universitaria. Ciudad de México. México. E-mail: ^{a1}rmr@pumas.iingen.unam.mx, ^{a2}rdm@pumas.iingen.unam.mx, ^{a3}MArganisJ@iingen.unam.mx

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue analizar el funcionamiento con reglas de operación determinadas usando intervalos de tiempo variables, a saber: un mes y quince días, de un sistema hidroeléctrico (SH) en México para investigar si ello influye en el desempeño del sistema para el control de eventos no deseados, tales como: derrames y déficits, principalmente. El sistema elegido es por su tamaño y la cantidad de energía que genera, el tercero en importancia en México. Es conocido popularmente con el nombre de El Infiernillo (figura 1). Controla las aguas del río Balsas. Su cuenca se divide en tres subregiones: Alto Balsas, Medio Balsas y Bajo Balsas. Según datos del 2007 tiene una disponibilidad total anual de aguas superficiales estimada en $24484 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de escurrimientos vírgenes y retornos. Geográficamente se localiza entre las coordenadas: $18^\circ 21' 26''$ a $18^\circ 56' 04''$ de Latitud norte y $101^\circ 28' 16''$ a $101^\circ 59' 49''$ de Longitud Oeste, en los límites de los estados mexicanos de Guerrero y Michoacán. El embalse fue construido por la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos entre el periodo de agosto de 1960 a diciembre de 1963 y puesta en operación el 15 de junio de 1964. El vaso tiene 120 km de largo y cubre un área de 400 km^2 . Tiene una capacidad total de $12000 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.



Figura 1 | Localización del SH El Infiernillo en México.

De estudios anteriores (Mendoza et al., 2016; Mendoza et al., 2017) se tomó un intervalo de discretización de la capacidad útil del embalse de $200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, el número de etapas definidas y extracciones máximas y mínimas para cada una, límites de curvas guía alta y baja, ecuaciones de ajuste y datos generales del embalse. Se usaron los registros de ingresos históricos para el periodo en forma mensual y quincenal para hacer primero un análisis estadístico y determinar las probabilidades asociadas a ellos. Una vez hecho el análisis estadístico, las políticas de operación del SH se determinan usando la metodología de la Programación Dinámica (PD) en su versión estocástica (PDE), los detalles del algoritmo se pueden consultar en Bellman

(1957). El inconveniente de la PD es el alto costo en recursos computacionales que demanda, para salvar esto la técnica se trabaja separando el algoritmo de solución en dos partes; en la primera sólo se calcula el beneficio esperado por cada etapa, que se repite de un año. En la segunda parte se determina el beneficio acumulado hasta la etapa considerada y su valor óptimo, para ello se propone un número de años muy grande (puede corresponder a la vida útil del sistema); en la etapa inicial se asignan valores de cero a los beneficios óptimos y se comienza el recorrido de las etapas en sentido contrario al tiempo y se resuelven las ecuaciones iterando hasta que las diferencias entre dos años consecutivos cumplen una tolerancia establecida que garantiza convergencia y estabilidad de la solución. Un vez logrado esto, se guarda la extracción óptima (k_i^*) para cada presa con su respectivo beneficio (B^*) (Mendoza et al., 2012).

Con la política de operación obtenida se simula el funcionamiento del sistema con ella y se evalúa el desempeño del sistema monitoreando el comportamiento de cuatro variables principales, a saber: derrame y déficit total, almacenamiento mínimo registrado y energía eléctrica promedio generada. El algoritmo de la PDE y el programa de simulación se tienen codificados en tres programas elaborados en lenguaje Fortran, con los que se obtiene para cada intervalo de tiempo y de discretización de volumen, la extracción óptima y con esta última se simula el funcionamiento del sistema (de 1965 a 2013), sea en forma mensual o quincenal, en este caso se hizo tomando un Δt de 15 días para poder comparar con los resultados de los estudios de Mendoza et al., del 2016 y del 2017. Se obtuvo un primer resultado (tabla 1) que mostró que el sistema tiene un mejor control en el evento de derrame con reglas de operación determinadas haciendo el análisis en forma quincenal del registro histórico pero el embalse registra varios años con déficit, no afectando esto en forma notable la cantidad promedio de energía generada, sin embargo esta condición no es deseable que se presente, por ello, se diseñaron varios ensayos más con el propósito de lograr equilibrio entre derrame y déficit. Los resultados se reportarán en el trabajo final.

Tabla 1 | Comparación de resultados con estudios anteriores.

	Derrame ($1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$)	Déficit ($1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$)	Almacenamiento mínimo ($1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$)	Energía promedio generada (GWh/quincena)
Mendoza et al., 2016	11320.2	0.0	271.0	144
Mendoza et al., 2017	10675.2	470.1	0.0	144
Ensayo 1	6902.6	4237.1	0.0	141

REFERENCIAS

- Bellman, R. 1957. *Dynamic Programming*. Princeton University Press. Princeton, NJ. USA.
- Mendoza, R., Domínguez, R. y Arganis, M. 2012. Influencia de curvas guía en las políticas de operación para el manejo de un sistema hidroeléctrico. *Memorias del XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, 9-12 Septiembre, San José, Costa Rica.
- Mendoza, R., Arganis, M. y Domínguez, R. 2016. Efecto de la variación por etapa en los coeficientes de castigo para obtener reglas de operación: presa El Infiernillo, Mich., México. *Memorias del XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, 28-30 Septiembre, Lima, Perú.
- Mendoza, R., Arganis, M. y Domínguez, R. 2017. Análisis de la inclusión de la variabilidad temporal del coeficiente de autocorrelación en la simulación de un sistema hidroeléctrico en México. *Memorias del XIII Congreso Internacional de Hidráulica*, 21-25 Marzo, La Habana, Cuba.

Análisis integral del impacto del Cambio Climático en los regímenes de agua, crecidas y sedimentos de una rambla mediterránea

Montalvo, C.^{a1} y Francés, F.^{a2}

^aGrupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA), Instituto de Ingeniería del Agua y el Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. ^{a1}carlosimm77@gmail.com, ^{a2}ffrances@upv.es.

Línea temática | B Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

El cambio climático y sus efectos en el Ciclo Hidrológico es un tema muy importante en todo el planeta, en la medida que estimar sus efectos tiene un papel preventivo. Esto además es crítico en las cuencas del arco mediterráneo español, dado que actualmente ya presentan un alto estrés hídrico y fuertes alteraciones antrópicas de su régimen.

El caso de estudio es el de la Rambla de la Viuda. Su cuenca es de 1513 Km² y es afluente por margen izquierda del Río Mijares en las proximidades de su desembocadura en el Mar Mediterráneo. Dentro de la misma se encuentran los embalses de M^a. Cristina y Alcora, el primero de ellos con problemas de aterramiento y probable infra-dimensionamiento de su aliviadero, por lo que es prioritario el conocimiento de lo que pueda ocurrir con este embalse en el futuro. Esta cuenca presenta un clima mediterráneo, caracterizado por ser una transición entre las zonas templadas y cálidas, con un régimen estacional de temperaturas parecido a los climas templados, mientras por su aridez y escasas lluvias se asemeja a los climas tropicales secos. Tiene una litología común en la zona, marcada por un dominio calcáreo que en particular favorece la infiltración de agua en una buena parte de su red de cauces. El resultado es una de las características principales de las ramblas, que por lo general presentan caudal únicamente durante los eventos importantes de precipitación que se dan en otoño, asociados a fenómenos de “gota fría”.

Los posibles efectos en la cuenca se han estimado utilizando el modelo hidrológico distribuido TETIS y su submodelo de sedimentos incorporado (GIMHA, 2017). La información meteorológica empleada se obtuvo de la AEMET, que a través de su sitio web pone a disposición pública escenarios climáticos regionalizados (AEMET, 2017). Estos escenarios se han obtenido a partir de los resultados de diferentes Modelos Climáticos de Circulación General (MCG), que representan los cambios a gran escala acordes con la información del IPCC en su quinto informe AR5. Las series temporales utilizadas son datos diarios de precipitación y temperaturas máxima y mínima, correspondientes a dos periodos; un primero, llamado de Control (1961-2000) que debe presentar características similares a los datos observados en el pasado; y un segundo periodo que denominaremos Futuro (2006-2100) que trata de representar el efecto que se producirá en la meteorología con diferentes escenarios fundamentalmente de emisiones de gases de efecto invernadero (en este caso se ha seleccionado el escenario RCP 8.5).

Sin embargo, al comparar en la cuenca de estudio diferentes estadísticos del periodo de Control con los obtenidos a partir de la información observada interpolada proveniente del proyecto SPAIN02 v.04 en el periodo común 1971-2000, se encontraron diferencias notables para todos los modelos regionales. Esto puede ser debido a la resolución de los MCG y/o a la hipótesis de las técnicas de regionalización. Es por ello que fue necesario descartar los peores y corregir las series de precipitación y temperatura del resto mediante regresiones lineales para cada estación del año durante el período común y para cada modelo regional. Esta misma corrección se aplicó a todas las series temporales del escenario Futuro.

La implementación del sub-modelo hidrológico se llevó a cabo utilizando la información meteorológica observada de SPAIN02 v.04 y los caudales de salida del embalse de M^a Cristina obtenidos de la base de datos del CEDEX. La calibración y validación del modelo se realizó de manera cualitativa mediante la comparación de los hidrogramas y cuantitativamente utilizando el coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe (EF₂). En este proceso fue necesario la introducción de pérdidas de flujo a lo largo de la red fluvial. Para ello se correlacionaron las pérdidas con el área de cauce sobre las zonas kársticas. Con ello el EF₂ en calibración mejora de 0.905 a 0.928, y en validación de 0.739 a 0.924, lo que también se refleja en los hidrogramas

simulados, que dejan de presentar flujo en periodos observados sin salidas, aumentando su similitud. La validación en el aforo de Vall de Alba fue también satisfactoria. En lo que respecta al sub-modelo de sedimentos, se calibró con las batimetrías del embalse de los años 1991 y 2000, esta última inmediatamente posterior a una crecida de gran magnitud.

Una vez calibrado y validado en modelo, se realizaron las simulaciones con las series meteorológicas de los MCG regionalizados corregidos, tanto en el período de Control como en el Futuro. En lo que respecta al clima, realmente no hay una señal clara de cambios en la precipitación, tanto en cantidad como en torrencialidad (Fig. 1.a), aunque si es evidente el futuro aumento de temperaturas que se traducirá en un incremento de la evapotranspiración de referencia (Fig. 1.b). Es precisamente este incremento de la evapotranspiración la que da lugar a una reducción de los recursos disponibles, tanto superficiales (en las crecidas, por ser un río efímero) como subterráneos (en forma de recarga ya que el acuífero no está conectado con el río).

En lo que respecta a las crecidas, la Fig. 1.a nos muestra que existe una clara disminución de los cuantiles ajustados cuando se comparan los resultados de período de Control 1971-2000 (líneas azules) con el Futuro 2071-2100 (líneas azules), treinta años en ambos casos. A pesar de que la torrencialidad será similar, la disminución en los cuantiles de crecida se debe de nuevo a la mayor evapotranspiración que da lugar a una menor humedad del suelo al inicio de las tormentas: si la humedad inicial es menor, la capacidad de infiltración será mayor dando lugar a una disminución de la producción de escorrentía superficial en los eventos de crecida. Esta afectación disminuye con la magnitud de la tormenta, pero sí que se refleja en los estadísticos de hasta 100 años de período de retorno. Dada la conexión directa de los procesos erosivos con los eventos de fuertes precipitaciones, el resultado es que cabrá esperar en el futuro una disminución de los aportes de sedimentos al embalse de M^a Cristina, alargando su vida útil respecto de lo esperado con el clima actual.

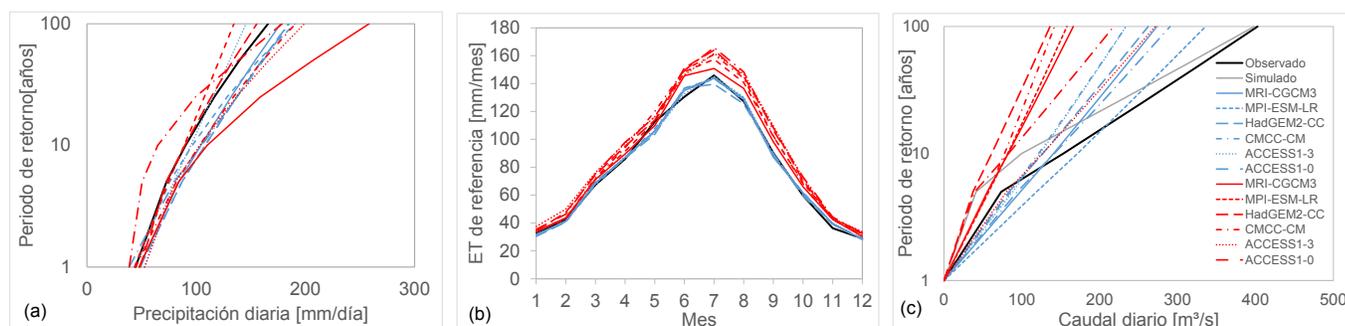


Figura 1 | Cuantiles de máximos diarios anuales de precipitación (a) y caudal (c) y evapotranspiración de referencia mensual media (b) para los datos de SPAIN02 v.04 (línea negra) y de escenarios climáticos corregidos en el período de Control (líneas azules) y Futuro (líneas rojas).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha estado financiada por el proyecto de Plan Nacional TETISMED (CGL2014-58127-C3-3-R).

REFERENCIAS

AEMET, Agencia Estatal de Meteorología de España 2017. *Proyecciones climáticas para el siglo XXI*. Consultado el 30/01/2017. http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat

Análisis Regional de Frecuencia de Avenidas de la vertiente cantábrica y noratlántica de España

Montes, J.^{a1}, Álvarez, M.^b, Pertierra, L.^c, Moralo, J.^{a2}, Baztán, J.^{a3}

^a Gas Natural Fenosa, Ingeniería y Desarrollo de Generación, Calle Acanto 11-13 pl. 01 28045 Madrid. E-mail: a1 jmontesm@gasnatural.com_a2: jmoralo@gasnatural.com_a3: jbaztan@gasnatural.com

^b Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ali.alvarez@udc.es

^c Gas Natural Fenosa Explotación, Unidad Hidráulica Generación España, Calle Batundeira 2 pl. 01 32960 Ourense. E-mail: lpertierra@gasnaturalfenosa.com

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

El objetivo principal del estudio se ha centrado en la aplicación del método de Análisis Regional de Frecuencias basado en los L-momentos (Hosking y Wallis, 1997) a las series de caudal máximo anual instantáneo de estaciones y embalses localizados en la vertiente cantábrica y noratlántica de la Península Ibérica.

Las series han sido constituidas tanto por los registros del caudal máximo anual instantáneo de aquellos años en los que se contaba directamente con este valor, así como por estimaciones de dicho caudal a partir de los registros del caudal máximo medio diario de aquellos años en los que, existiendo este último dato, sin embargo no se cuenta con registros directos del caudal máximo instantáneo. Tales estimaciones han sido realizadas a partir del desarrollo de un análisis de regresión múltiple, mediante el cual se ha inferido una relación matemática capaz de explicar el ratio entre el caudal máximo instantáneo y el caudal máximo medio diario (Ratio *k*) con una mayor ajuste y menores sesgos y errores cuadráticos medios que con la clásica ecuación de Fuller. A continuación se muestra la ecuación propuesta junto con la descripción de las variables relacionadas:

$$\text{Ratio } k = 1 + 0.28 \cdot \frac{S_c^{0.35} \cdot R^{0.56}}{A_c^{0.98} \cdot P_f^{1.68}} \quad (1)$$

donde: *Ratio k* = *Qmi/Qmd*, *Qmi* = Caudal máximo anual instantáneo (m³/s), *Qmd* = Caudal máximo medio diario anual (m³/s), *Sc* = Pendiente media de la cuenca (%), *R* = Recarga anual promedio de los acuíferos de la cuenca (mm), *Ac* = Área de cuenca (km²), *Pf* = Parámetro de forma de la cuenca (Perímetro [km] /Área de cuenca [km²]).

Así pues, aplicando la anterior ecuación a aquellos años y estaciones en las que, existiendo registros de caudal máximo medio diario no se cuenta con datos de caudal máximo instantáneo, se ha conseguido disponer de series temporales más largas, barriendo la región en estudio mediante un total de 27 estaciones hidrométricas con caudales máximos instantáneos en régimen natural entre los 21 y 53 años, así como con 15 embalses de cabecera con series entre los 20 y 54 años. De esta manera se ha obtenido una densidad de datos de 1.98, 1.24 y 1.38 estaciones/1000 km² respectivamente para las Confederaciones Hidrográficas del Cantábrico, Miño-Sil y Galicia Costa, densidades superiores a las recomendadas por la Organización Mundial de Meteorología (WMO-No.168).

Todas las series de partida han sido sometidas a un minucioso análisis de la calidad de sus datos, evaluando el cumplimiento de los criterios de aleatoriedad, independencia, homogeneidad y estacionariedad a partir de un conjunto de pruebas implementadas en el modelo estadístico TREND (Chiew y Siriwardena, 2005; Grayson *et al.*, 1996), en el cual se recogen las recomendaciones y métodos emanados del Taller de Expertos de la OMM/UNESCO (Kundzewicz y Robson, 2000) sobre pruebas estadísticas para la verificación de la calidad de las series hidrometeorológicas.

Como resultado final de la aplicación del método de Análisis Regional de Frecuencias basado en los L-momentos a las series de datos citadas, se ha obtenido un modelo capaz de estimar valores extremos del caudal punta en cualquier ubicación del noroeste peninsular para períodos de retorno de hasta 10.000 años, con una mayor robustez que con otras metodologías. Estos resultados podrán ser útiles tanto a los explotadores de embalses ubicados en la vertiente cantábrica y noratlántica de la Península Ibérica, así como a las Administraciones competentes de la gestión del riesgo de inundaciones de la zona analizada.

V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

Como objetivo adicional del estudio se ha perseguido contrastar la robustez del modelo desarrollado con aquellos resultados que se derivan de la aplicación de la variante cuasi-regional que asume un L-coeficiente de asimetría constante en toda la región (RSE), variante utilizada en la elaboración del mapa de caudales máximos de las cuencas intercomunitarias (CEDEX, 2009). En la siguiente figura se muestra un gráfico comparativo de los errores cuadráticos medios (RMSE) obtenidos con cada una de las dos metodologías aplicadas, pudiéndose observar que los resultados arrojados por el método de Análisis Regional de Frecuencia basado en los L-momentos para las funciones de distribución Normal Generalizada (GNO), Pearson Tipo III (PE3) y General de Valores Extremos (GEV) muestra una menor incertidumbre que la envolvente de resultados medios y mínimos derivados de la aplicación de la variante RSE.

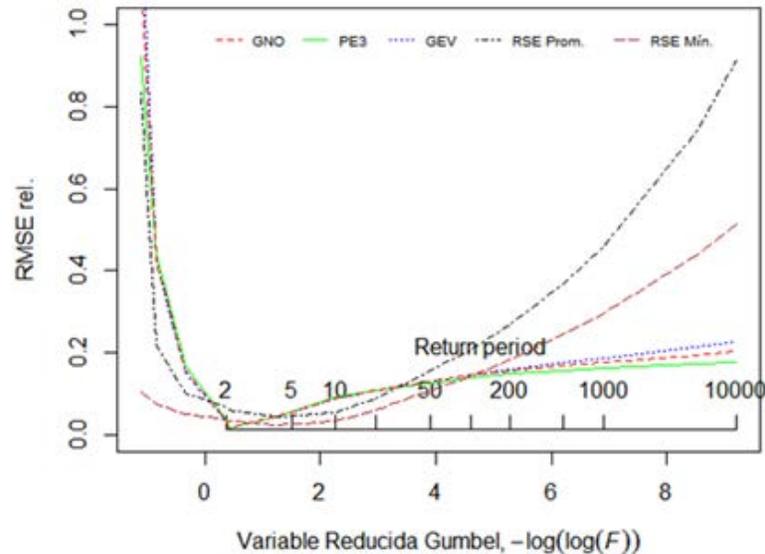


Figura 1 | Relación entre el RMSE y el período de retorno para las dos metodologías aplicadas

AGRADECIMIENTOS

La investigación presentada ha sido parcialmente financiada por el Grupo de Tecnología e Innovación de Gas Natural Fenosa.

REFERENCIAS

- CEDEX, 2009. *Mapa de caudales máximos de avenida para la red fluvial de la España peninsular. Informe Técnico para la Dirección General del Agua del MARM*. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.
- Chiew, F. and Siriwardena, L. 2005. *Trend/Change detection software. USER GUIDE*. CRC for Catchment Hydrology, Australia
- Kundzewicz, Z.W., Robson, A. (2000). *Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data. World Climate Program – Water*, WMO/UNESCO, WCDMP-45, WMO/TD 1013, Geneva.
- Hosking, J.R., Wallis, J.R. 1997. *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge University Press. doi:10.1017/cbo9780511529443
- World Meteorological Organization. *Guide to Hydrological Practices. Volume I. Hydrology-From Measurement to Hydrological Information*. Sixth edition. WMO-No.168. 24-25

Análisis del riesgo de inundación mediante técnicas estadísticas avanzadas

Navas, S.^{a1}; del Jesus, M.^{a2}

^{a1}Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria - Avda. Isabel Torres, 15, Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, 39011, Santander, España. E-mail: ^{a1}salvador.navas@unican.es, ^{a2}manuel.deljesus@unican.es.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Las inundaciones son el desastre natural que se manifiesta con mayor frecuencia en nuestro país, dando lugar a graves situaciones de riesgo colectivo. Para la protección de personas y bienes ante los efectos destructivos de las inundaciones, resulta necesario evaluar el riesgo existente ante estas situaciones provocadas por los desbordamientos de uno o varios cauces.

La evaluación del riesgo de inundación se centra en determinar la naturaleza y extensión del riesgo existente mediante el análisis de las amenazas potenciales y evaluación de las condiciones de vulnerabilidad que pueden derivarse de la amenaza potencial, causando daños personales, a la propiedad y al medio ambiente. La amenaza asociada a una inundación se corresponde con la crecida fluvial, definida a través de su extensión en superficie, sus calados y las velocidades que induce en el flujo.

Tradicionalmente, el cálculo de la amenaza en el riesgo de inundación se realiza tomando como dato de partida los hietogramas asociados a distintos períodos de retorno, obtenidos a partir de la estadística de extremos de la precipitación. La problemática de utilizar esta metodología surge cuando se utilizan series cortas y con una densidad baja de pluviómetros en la cuenca de estudio para el cálculo de los hidrogramas, dando lugar a resultados con una incertidumbre que no se cuantifica.

Para considerar la incertidumbre en la evaluación del riesgo se plantea una metodología en la que se generan series de precipitación sintéticas distribuidas por toda la cuenca, a partir de técnicas geoestadísticas (Villatoro et al., 2008; Caballero, 2011), tomando como datos de partida las series de precipitación de los pluviómetros existentes. Realizada la reconstrucción de las series temporales sintéticas, se realizan simulaciones del comportamiento hidrológico de la cuenca estudiada. De estas series se seleccionan aquellos eventos más significativos para realizar una simulación hidráulica y computar sus calados y velocidades de inundación. El resto de eventos se resuelven mediante técnicas híbridas de reducción de escala (Smith, 2002) y métodos de minería de datos (Camus et al., 2011; Ben Alaya et al., 2014). Para calcular la amenaza producida para un determinado período de retorno, la estadística de extremos se lleva a cabo sobre el calado y la velocidad de la inundación, no sobre la precipitación como en la metodología tradicional. El enfoque propuesto supone una consideración expresa de la estadística de la inundación, incluyendo parte de la incertidumbre que otros métodos pasan por alto.

La aplicación de la metodología planteada se lleva a cabo sobre la población de Los Corrales de Buelna, uno de los municipios españoles que más inundaciones ligadas a crecidas fluviales ha sufrido a lo largo de la historia. Los desbordamientos del río Besaya son los causantes de estos episodios de inundación. Estos desbordamientos están ligados a la dinámica natural del río, debido a la corta longitud de la cuenca y el fuerte desnivel que presenta desde su nacimiento, lo que reduce notablemente el tiempo de concentración en este tramo medio del río y agiliza su respuesta frente a episodios de precipitación.

La forma de analizar el riesgo asociado a una amenaza es a través de la elaboración de mapas. En este caso se ha empleado la metodología propuesta en La Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables desarrollada por el Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente. Con la realización de estos mapas, se ha evaluado cuál es la influencia que tiene en la cuantificación del riesgo de una inundación a partir del uso de la metodología habitual y la que se plantea utilizando técnicas estadísticas avanzadas.

En la Figura 1 se muestra de la comparativa entre los resultados obtenidos mediante la metodología habitual y la que se plantea.

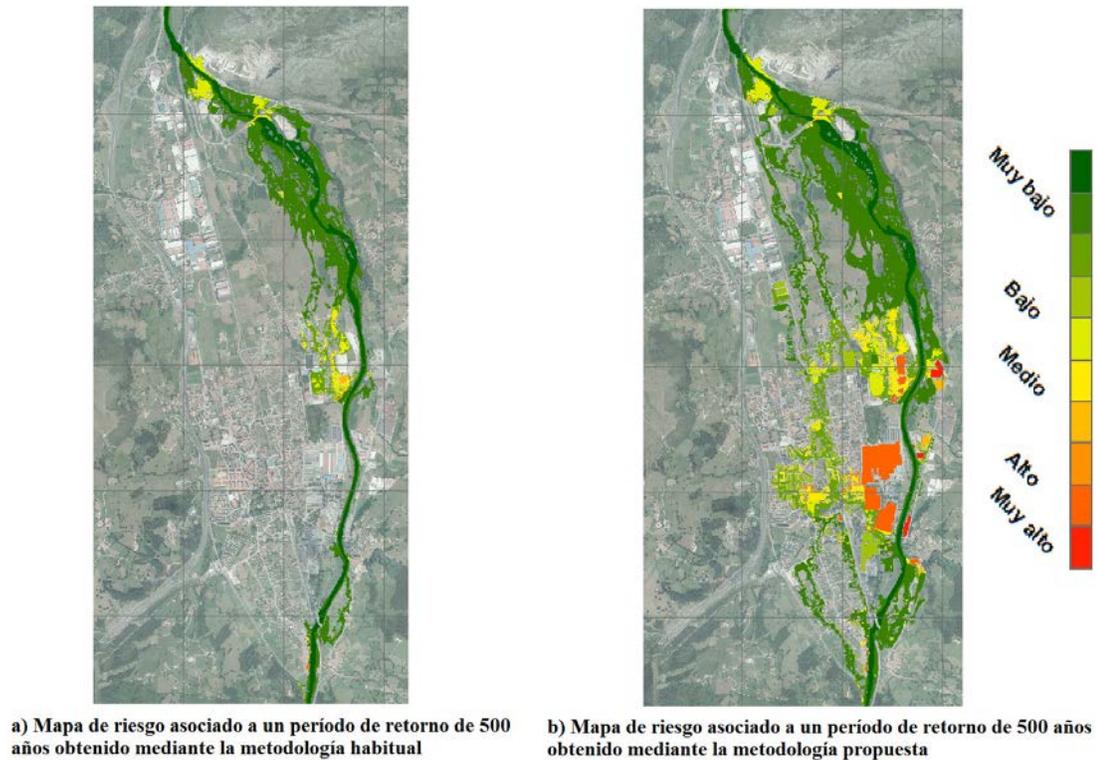


Figura 1 | Comparativa en los resultados de los mapas de riesgo obtenidos mediante la metodología planteada y la metodología habitual.

REFERENCIAS

- M. A. Ben Alaya, F. Chebana, and T. B M J Ouarda. Probabilistic gaussian copula regression model for multisite and multivariable downscaling. *Journal of Climate*, 27(9):3331–3347, 2014.
- Paula Camus, Fernando J. Mendez, Raul Medina, and Antonio S. Cofiño. Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate. *Coastal Engineering*, 58(6):453–462, 2011.
- Caballero, W. 2011. Kriging Universal para Datos Funcionales. Universidad de Colombia.
- Mario Villatoro, Carlos Henríquez, and Freddy Sancho. Comparación de los interpoladores idw y kriging en la variación espacial de ph, ca, cice y p del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1):95–105, 2008.

Sistema de alerta temprana para previsión de inundaciones en campings

Olivares, G.^{a1}, Gómez, M.^{a2}, Gurrera, J.^b

^aInstituto Flumen. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de Catalunya. Jordi Girona 1-3. D1. 08034 Barcelona. E-mail: ^{a1}gonzalo.olivares@upc.edu, ^{a2}manuel.gomez@upc.edu,

^bUrbeg ingeniería. Plaça del Carne 12, 3r 2ª 25700 – la Seu d'Urgell E-mail: gurrera@urbeg.cat

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

La necesidad de prevenir los efectos asociados a los fenómenos meteorológicos (principalmente la lluvia) en zonas montañosas lleva la tarea imperiosa de poder describir la meteorología y las características físicas de la zona de análisis. En este sentido, la cuenca hidrológica y sus respuesta, se postula como la unidad fundamental de estudio en la hidrometeorología. Ante este escenario es esperable que cualquier actividad que se lleve a cabo dentro de los límites de la cuenca esté sujeta a fenómenos de este tipo. Esta situación es mucho más sensible en zonas de montaña, donde la meteorología es cambiante y las propias condiciones topográficas de la zona pueden desencadenar situaciones con alto impacto sobre la población o las actividades que desarrollan cerca del cauce (inundaciones, avalanchas, transporte de detritos, etc). El impacto y la escala que pueden tener este tipo de fenómenos, con la correspondiente pérdida de vidas humanas y daños a infraestructuras, hace imperioso contar con mecanismos capaces de prevenir a tiempo este tipo de situaciones. Por esta razón se hace necesario contar con sistemas de alerta temprana de inundaciones asociadas a fenómenos de precipitación.

Este trabajo se enmarca dentro del estudio realizado a petición de la Federación d'Hosteleria de Lleida en el cual se realiza una propuesta de un sistema SATI (Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones) para la evaluación del estado de los campings ubicados en la zona de la Noguera Pallaresa. Estos campings se encuentran en su mayoría en las riberas de los principales cauces de la cuenca y pueden ser afectados directamente por las crecidas producidas por eventos de lluvia de corta duración. Dada la condición meteorológica de la zona de estudio, estos fenómenos extremos de precipitación (corta duración y alta intensidad) son frecuentes en las épocas estivales, por lo que la situación se torna aún más compleja, ya que en estos periodos la concurrencia a los campings es la más alta.

Tras analizar los organismos de cuenca responsables y en este caso la Confederación Hidrográfica del Ebro, CHE, las áreas inundables definidas en los estudios realizados, se observa que la mayoría de campings se encuentran en zonas inundables siendo el periodo de retorno de seguridad de los lugares de acampada de pocas decenas de años en algunos casos, lejos de los 500 años contemplados en el Reglamento de Dominio Público Hidráulico actual, e incluso de los 100 años contemplados en la Directiva de Inundaciones de la UE.

Ante la alternativa de dismantelar todas las instalaciones, teniendo en cuenta el perjuicio que puede ello suponer para la economía de la provincia, basada en gran parte en el turismo de montaña, se plantea la posibilidad de un sistema de Alerta de Inundaciones, donde a partir de medidas aguas arriba de nivel de agua en puntos de control de la red hidrográfica y medidas de lluvia caída, todo ello en tiempo real, se puedan definir niveles de alerta que permitan la evacuación de las zonas del camping que pueden ser afectadas por la inundación.

Para el presente estudio se analizó el esquema de trabajo para la zona de Espot, donde se encuentran 4 campings ubicados en las márgenes del río Escrita. La cuenca abarca una superficie total de 79.1 km² con fuertes pendientes y tiempos de concentración en subcuencas que van desde 1 a 2.5 h. El tiempo de concentración total de la cuenca es de 4.5 h. Los campings en el río son el Voraparc, Peret, Sol i Neu y la Mola. Estos se encuentran ubicados principalmente en la zona baja de la cuenca y separados entre ellos con distancias que van de los 0.9 a 1.4 km.

Esquema de previsión y alerta

Dada la complejidad que presenta la zona en términos hidrometeorológicos, es imposible proponer una herramienta que sea capaz de captar toda la variabilidad de la zona de estudio, esto quiere decir, que se deberán asumir algunas hipótesis que permitan limitar dichas variabilidades. Como ya se mencionó anteriormente, existe una complejidad importante en el tema de la precipitación, ya que nunca es posible captar toda su variabilidad (espacial y temporal), por esta razón es necesario definir algunas hipótesis de trabajo que permitan obtener una herramienta simple de predicción, pero al mismo tiempo eficaz. Por otro lado, debido a la existencia de algunos afloramientos en el cauce (nivel del agua), la tarea de predecir las crecidas también será apoyada por esta medición en el caso de que esta información sea de utilidad. Es decir el sistema se plantea como una integración entre medidas de aforo y pluviometría.

El primer paso correspondió a definir los caudales de inundación en cada uno de los campings. Esta tarea se ha llevado a cabo mediante la utilización del modelo hidrodinámico Iber. Al mismo tiempo se ha desarrollado un modelo hidrológico en HEC-HMS para estudiar la respuesta hidrológica de la cuenca y definir los caudales máximos en cada camping para diferentes periodos de retorno. Se definieron lluvias de diseño en bloques alternados para la zona y para distintos periodos de retorno con una duración del orden del tiempo de concentración de la cuenca. La lluvia se obtuvo a partir de los datos disponibles en el MaxPlu de la Dirección General de Carreteras, y en los datos disponibles del SMC (Servei Meteorològic de Catalunya). Se consideró una sola lluvia espacialmente distribuida en toda la cuenca pues se confirma a partir de los datos históricos que las máximas lluvias diarias en la zona son muy similares..

Finalmente se dividió la cuenca en distintas zonas para determinar cómo la lluvia caída en cada una de las zonas puede afectar a cada uno de los campings. Esto permitió definir escenarios en función de las distintas zonas de contribución y definir cuánta lluvia es necesaria por zona (lluvia asociada a su periodo de retorno) para causar inundación en cada uno de los campings. Esto implica conocer en tiempo real la lluvia recogida en cada pluviómetro, de manera que se pueda evaluar cuánta lluvia acumulada se produce para el evento y así determinar si es necesario definir un alerta de evacuación. El desarrollo del estudio permitió evaluar a partir de la distribución en el tiempo de lluvia y caudal, y conocido el instante en que se puede producir el caudal de inundación, evaluado previamente, se puede establecer la cantidad de lluvia acumulada hasta un instante, como mínimo una hora antes de que se produzca el caudal de inundación.

Este tiempo de anticipación es fundamental para garantizar la seguridad de la evacuación del camping, que se estima en media hora, por lo que se pide una anticipación mínima de 1 hora. El sistema necesita la instalación de pluviómetros conectados en tiempo real a un centro de control, donde conocida la tabla de alertas, emita avisos individualizados para cada uno de los campings para decretar la evacuación.

REFERENCIAS

Gómez, M. y Nanía, I. (2004). "Ingeniería Hidrológica". Grupo Editorial Universitario, P. 278, Granada, España.

Sobre un modelo numérico integral para la hidrología extrema de cuencas reguladas

Padilla, F.^{a1}, Hernández, J-H.^{b1} y Vellando, P-R.^{a2}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}francisco.padilla@udc.es, ^{a2}pablo.rodriguez-vellando@udc.es.

^bIngeniería Geomática e Hidráulica, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, México. E-mail: ^{b1}horandez@gmail.com

Línea temática | Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

Se ha ultimado el desarrollo de un modelo numérico hidrodinámico subterráneo y superficial capaz de evaluar las variables físicas relativas a todos los recursos hídricos de una cuenca hidrográfica (continental y/o costera) en su interacción con los distintos componentes del ciclo hidrológico para los usos del agua y ciertos acontecimientos hidrológicos extremos. Dicho modelo *FreshWaterSheds* se ha fundamentado en el método de los elementos finitos y en desarrollos implementados por los miembros integrantes del equipo de investigación, y en parte verificados e integrados entre sí en una Interfaz informática amigable conectada a un SIG. Se ha realizado la validación y la verificación del modelo con datos reales, lo suficientemente complejos, que permiten y avalan su aplicación a la resolución de problemas prácticos medioambientales, de ingeniería civil y de la gestión de todos los recursos hídricos de cuencas hidrológicas fuertemente reguladas y con características hidrológicas extremas.

Los trabajos realizados en este proyecto suponen pues la aplicación y desarrollo de un modelo numérico dotado de una interfaz informática amigable, a partir de la medición y el acceso a una gran variedad de datos hidrogeológicos y geográficos de relevancia para este tipo de estudios hidrológicos, los que permiten resaltar la fuerte interacción espacial y temporal entre las aguas subterráneas y superficiales (en rocas y sedimentos de geología compleja, ríos y laderas de elevadas pendientes, acuíferos, suelos, vegetación, así como para derivaciones, galerías filtrantes, bombeos, presas, embalses, lagos de gran calado, o acontecimientos como inundaciones, sequías, etc.), de manera a poder evaluar local y globalmente todos los componentes del ciclo hidrológico (mediante niveles freáticos, caudales, velocidades del agua, hidrogramas, calados, balances hidrológicos, etc.), a partir de la climatología, los elementos de regulación y los usos del agua presentes y/o futuros.

En este sentido se presenta una aplicación al estudio de la Cuenca del río Mero, hasta la confluencia aguas abajo de la presa del Embalse de Cecebre (de 250 km²), con el fin de considerar aquellos elementos de regulación y usos del agua especialmente afectados por la hidrografía cercana a la Mina de Meirama (de elevadas pendientes y con más de 200 metros de profundidad) y por los Embalses de Beche y de Cecebre, los cuales son especialmente relevantes por regular buena parte de las demandas hídricas de una amplia región como es La Coruña y varios de sus municipios colindantes.

Es por tanto que se han utilizado en la Cuenca del río Mero las variables y los parámetros hidrológicos suficientes como para cumplir con los objetivos de la aplicación, calibración y validación del modelo numérico desarrollado para el análisis de la evolución de todos los recursos hídricos afectados, principalmente entre otros, por los usos del agua, la geología, la vegetación, la climatología, el llenado del hueco de la mina de lignitos de Meirama y las operaciones de regulación del Embalse de Cecebre, con el fin de estar en medida de mejorar la futura gestión y la planificación de los recursos hídricos en la región.

Filtrado de datos procedentes de contadores inteligentes para la mejora en la desagregación automática de usos finales del agua

L. Pastor^a, F. Arregui^b, R. Cobacho^c

ITA-Grupo de Ingeniería y Tecnología del Agua, Dpto. de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, València 46022, ^alaupasja@ita.upv.es, ^bfarregui@ita.upv.es, ^crcobacho@ita.upv.es

Línea temática | Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

La mejora del uso eficiente del agua en áreas urbanas es uno de los objetivos señalados a nivel internacional (UNEP, 2011) para afrontar los retos futuros que plantean la creciente demanda de la población, las limitaciones impuestas por el recurso hídrico disponible y el impacto del cambio climático. La gestión de la demanda es uno de los instrumentos que permiten la consecución de este objetivo, cuyo principal dato de entrada radica en el conocimiento de cuándo, cómo y quién hace uso del agua.

El análisis de usos finales del agua es una potente herramienta que brinda efectivo soporte a la gestión y modelación de la demanda de agua urbana. El desarrollo de los equipos inteligentes de medición con alta resolución ha hecho viable la caracterización precisa de los perfiles de consumo de usos finales (Cominola et al., 2015), los cuales podrían ofrecer retroalimentación ad-hoc para cada usuario que promueva cambios en su comportamiento hacia la eficiencia (Fielding et al., 2013). No obstante, este tipo de estudios requiere análisis de trazas de caudal que conllevan una gran inversión en tiempo y capital humano, no viable desde el punto de vista económico (Nguyen et al., 2013a). Por esta razón, se hace necesario el desarrollo de herramientas automáticas de desagregación y clasificación en usos finales.

El filtro de las trazas de caudal es el paso previo a las operaciones que integran las herramientas automáticas de análisis de usos finales del agua. El principal propósito que persigue es depurar los inicios y finales de evento, así como los cambios de rasante. En consecuencia, el filtrado condiciona la desagregación, a través de la cual es posible determinar las características físicas de los eventos individuales (volumen, caudal medio y duración, entre otros). Dichas características constituyen el dato de entrada de la operación de clasificación. Por este motivo, su desempeño depende de que éstas sean representativas del uso final que debe asociarse a cada evento. En definitiva, el filtro de la traza de caudal afecta al resto de procesos y de ahí su importancia.

El desarrollo sobre este tipo de herramientas llevado a cabo por Nguyen et al. (2013b) es uno de los más recientes. El filtro que emplea se basa en examinar el cambio de gradiente a lo largo de la serie de caudal. Las fluctuaciones que no son debidas al inicio o fin de un evento son identificadas en tanto que el gradiente asociado queda por debajo de un cierto umbral. Al aplicar este filtro a la colección de datos disponible para el presente estudio, se observaron ciertas imprecisiones que dificultaban la posterior desagregación de un evento solapado. Es por ello que se ha desarrollado un filtro que supera dichas imprecisiones. Este nuevo filtro da un paso más en el análisis del gradiente y lo complementa con comprobaciones de volumen y caudal.

Los resultados obtenidos han permitido definir la traza de caudal a partir de una cantidad mínima de puntos, con el ahorro de memoria de almacenamiento que ello conlleva, a la vez que se depura el ruido sin distorsionar las características físicas del evento. Asimismo, se consigue respetar tendencias en cuanto a pendientes que identifican claramente un evento individual, como es el caso de la cola característica de las cisternas con válvula de llenado, con lo que se dispone de datos de entrada adicionales para las fases de desagregación y clasificación.

REFERENCIAS

- Cominola, A., Giuliani, M., Piga, D., Castelletti, A., Rizzoli, A.E. 2015. *Benefits and challenges of using smart meters for advancing residential water demand modeling and management: A review*. Environmental Modelling & Software 72, 198-214.
- Fielding, K.S., Spinks, A., Russell, S., McCrea, R., Stewart, R.A., Gardner, J. 2013. *An experimental test of voluntary strategies to promote urban water demand management*. Journal of Environmental Management 114, 343-351.
- Nguyen, K.A., Zhang, H., Stewart, R.A. 2013a. *Development of an intelligent model to categorise residential water end use events*. Journal of Hydro-environment Research 7, 182-201.
- Nguyen, K.A., Stewart, R.A., Zhang, H. 2013b. *An intelligent pattern recognition model to automate the categorisation of residential water end-use events*. Environmental Modelling & Software 47, 108-127.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2011. *Water: Investing in Natural Capital*. UNEP, Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. UNEP, Nairobi.

Estimación de hidrotipos para la evaluación del estado ecológico de ríos temporales no aforados

Pedrajas, J.^{a1}, Jimenez, S.^{b1}, Estrela, T.^{b2} y Francés, F.^{a2}

^aGrupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA), Instituto de Ingeniería del Agua y el Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia. ^{a1}juapedga@gmail.com, ^{a2}frances@upv.es.

^bConfederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), Avenida de Blasco Ibáñez, 48, 46010 Valencia. ^{a1}saramaria.jimenez@chj.es,

^{a2}Teodoro.Estrela@chj.es.

Línea temática | Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

Los ríos temporales son aquellos en los que su cauce queda seco o el flujo de agua cesa de manera recurrente (Williams, 2006). Son muy comunes en muchas regiones del mundo, y se espera que debido al cambio climático y al uso del agua su frecuencia aumente en un futuro cercano (Larned et al., 2010). En Europa, siguiendo la Directiva Marco del Agua se ha de establecer el estado ecológico de las masas de agua. Esto supone todo un desafío en las masas de agua no permanentes (Nikolaidis et al., 2013) ya que la mayoría de índices y herramientas están principalmente desarrollados para ríos no temporales (Cid et al., 2016). En Europa, los ríos temporales son muy característicos de las cuencas mediterráneas. En la Demarcación Hidrográfica del Júcar, el 20% de las masas de agua superficiales de la categoría río son temporales. En muchas ocasiones esta temporalidad se debe a causas naturales pero en otras es debido a causas antrópicas, como la extracción de agua subterránea que produce la desconexión de ríos y acuíferos (CHJ, 2016).

El objeto principal de este estudio es la caracterización del régimen hidrológico en masas de agua no permanentes sin estación de aforos, mediante la implementación del modelo hidrológico TETIS (GIMHA, 2017). Además el estudio incluye el uso e interpretación de la aplicación TREHS actualmente en desarrollo por la Universidad de Barcelona dentro del marco del proyecto Life TRivers, sobre ríos temporales. Esta aplicación permite, por un lado, la caracterización hidrológica de las masas de agua temporales y, por otro lado, una evaluación del grado de alteración del régimen natural. Se han seleccionado para el presente estudio cuatro masas de agua con régimen no permanente de la Demarcación Hidrográfica del Júcar en: el Barranco del Carraixet, la Rambla de la Viuda, el Río Cervol y la Rambla de Alcalá.

Uno de los principales inconvenientes a la hora de modelar ríos no permanentes es la falta de estaciones de aforos y cuando éstas existen, las lagunas existen en los datos. Por ello ha sido necesario calibrar previamente el modelo TETIS en las masas de agua seleccionadas que disponen de estaciones de aforo (Rambla de la Viuda, Carraixet y Cervol), de manera que dichas calibraciones se puedan extrapolar para la modelación de ríos temporales que carecen de estaciones de aforo. También debe considerarse que, en la mayoría de los ríos no permanentes de la Demarcación que disponen de estación de aforo, se trata de series hidrológicas muy antiguas que remontan normalmente a los años 1912 y 1930. Para poder calibrar el modelo TETIS en estas masas (Cervol) ha sido necesario solicitar a AEMET datos diarios de pluviómetros históricos.

Para poder modelizar convenientemente los ríos intermitentes mediterráneos, se ha introducido una modificación en el modelo TETIS que incorpora las pérdidas por transmisión en cauce, así como las zonas kársticas y los manantiales. Estas modificaciones han supuesto una mejora muy importante en los resultados obtenidos, consiguiendo representar de manera adecuada en Rambla de la Viuda y Carraixet los días con caudal nulo y la variabilidad espacial de los ríos. Posteriormente, se ha implementado el modelo TETIS en el río Cervol calibrando con los datos de aforo existentes entre los años 1912 y 1929 y los datos pluviométricos históricos proporcionados por AEMET. Para la implementación del modelo hidrológico TETIS en la Rambla de Alcalá ha sido necesario extrapolar la calibración obtenida de los otros ríos modelados. Al no tener datos de caudal no se puede realizar una validación usual del modelo. En este caso, las observaciones directas y las encuestas se usan para valorar si es posible modelar ríos no permanentes sin estaciones de aforo mediante la extrapolación de calibraciones en otros ríos no permanentes.

La aplicación TREHS, en desarrollo, permite introducir información hidrológica de diferentes fuentes, como modelos, estaciones de aforo, encuestas o/y observaciones directas; la aplicación calcula una serie de índices relacionados con la permanencia del flujo y con la predictibilidad estacional de los meses de caudal nulo para cada fuente de información introducida, lo que permite la comparación entre las diferentes fuentes de información. Una vez obtenidas y validadas las series hidrológicas del régimen natural mediante el modelo TETIS, se introduce esta información dentro de la aplicación TREHS junto con las encuestas y observaciones directas. Comparando los índices obtenidos con la serie hidrológica del modelo TETIS con los índices obtenidos con el resto de fuentes de información se pueden validar los resultados de TETIS en las masas de agua no aforadas en las que solo se dispone de observaciones directas o encuestas para validar el modelo realizado. Una vez validadas con TREHS las series hidrológicas modeladas con TETIS ya es posible definir el hidrotipo de las masas de agua modeladas y, según el resultado obtenido, se elige el método de evaluación del estado adecuado (Gallart et al., 2012).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha estado financiada por el proyecto de Plan Nacional TETISMED (CGL2014-58127-C3-3-R). También agradecer a AEMET, Agencia Estatal de Meteorología de España y al Grupo de Meteorología de la Universidad de Cantabria (UNICAN) por los datos meteorológicos y al proyecto life TRivers por el apoyo en el uso de la herramienta TREHS.

REFERENCIAS

- CHJ, 2016. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. <http://www.chj.es>
- Cid, N., Verkaik, I., García-Roger, E., Rieradevall, M., Bonada, N., Sánchez-Montoya, M., et al., 2016. A biological tool to assess flow connectivity in reference temporary streams from the Mediterranean Basin. *Sci. Total Environ.* 540, 178–190.
- Gallart, F., Prat, N., García-Roger, E.M., Latron, J., Rieradevall, M., Llorens, P., et al., 2012. A novel approach to analysing the regimes of temporary streams in relation to their controls on the composition and structure of aquatic biota. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16, 3165–3182.
- GIMHA 2017. *Descripción del modelo conceptual distribuido de simulación hidrológica TETIS*. Universitat Politècnica de València.
- Larned, S.T., Datry, T., Arscott, D.B., Tockner, K., 2010. Emerging concepts in temporaryriver ecology. *Freshw. Biol.* 55, 717–738.
- Nikolaidis, N.P., Demetropoulou, L., Froebrich, J., Jacobs, C., Gallart, F., Prat, N., et al., 2013. Towards sustainable management of Mediterranean river basins: policy recommendations on management aspects of temporary streams. *Water Policy*, 15, 830–849.
- Williams, D.D., 2006. *The Biology of Temporary Waters*. Oxford University Press, New York.

Empleo de los errores de balance para modular la bondad de ajuste en modelización hidrológica.

Pellicer-Martínez, F.^a; Pedro-Monzonís, M.^b; Portela M.M.^c, Martínez-Paz, J.M.^b

^a Departamento de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica Superior. Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM), Campus de los Jerónimos, Guadalupe 30107 Murcia, España. E-mail: ^afpellicer@ucam.edu

^b Instituto del Agua y del Medio Ambiente (INUAMA). Universidad de Murcia. Edificio D. Campus de Espinardo, 30100 Murcia, España.

^c Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico, CERIS, Lisboa, Portugal.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Para la correcta planificación y gestión del agua en una cuenca hidrográfica es imprescindible conocer la disponibilidad espacial y temporal de sus recursos hídricos (Wurbs, 2005; Pedro-Monzonís et al., 2016). A largo plazo, estimar los recursos futuros considerando los posibles cambios en el clima ya se ha convertido en una tarea fundamental con la que poder ir adaptando la gestión de la cuenca a las previsibles fluctuaciones en la disponibilidad (BOE, 2008). Tanto para la evaluación actual como la futura se recurre habitualmente a la modelización hidrológica, dada la facilidad de esta herramienta para recrear el ciclo hidrológico de una cuenca mediante la simulación de los principales procesos que dominan su hidrología. Para ello se necesitan de un lado datos climáticos históricos y de otro un número reducido de parámetros con los que monitorizar las expresiones matemáticas que reproducen dichos procesos hidrológicos. El valor de estos parámetros se establece mediante la optimización de una sola función objetivo o de una combinación de varias funciones (Zhang et al., 2008). Estas funciones objetivo, que también pueden ser empleadas directamente para medir la bondad de ajuste del modelo (Ritter y Muñoz-Carpena, 2013), a su vez condicionan la orientación del modelo simulado, por ejemplo, primando que el mismo reproduzca mejor los caudales pico en detrimento de los caudales bajos o viceversa. Entre las funciones más habituales en la literatura especializada se encuentran, entre otras, el error cuadrático medio, el coeficiente de eficiencia de Nash o la eficiencia volumétrica (Criss y Winston, 2008).

En este proceso de simulación no siempre un buen ajuste implica una correcta modelización de la hidrología de la cuenca, perdiendo el modelo hidrológico su imprescindible fundamento físico y comportándose más como una función matemática a optimizar. Así los flujos resultantes en los procesos hidrológicos que no han sido directamente calibrados carecen de utilidad en situación reales. Estos casos de un buen ajuste matemático pero que proporciona una mala simulación del ciclo hidrológico suele presentarse cuando no se han considerado todos los procesos hidrológicos relevantes de la cuenca y se detectan al realizar un análisis detallado del balance de la cuenca en cuestión para la que el modelo almacena o liberará agua de forma artificial. Para el caso concreto de los modelos de evaluación de recursos hídricos, se puede estar perdiendo información básica al no incluir, por ejemplo, el almacenamiento de agua en forma de nieve, la existencia de flujos subterráneos entre cuencas (Pellicer-Martínez y Martínez-Paz, 2014), la extracción de agua no registrada o/y utilizar datos de partida erróneos (como suele ser la sobreestimación o subestimación de la evapotranspiración potencial), entre otras.

En este trabajo se propone el uso de una función adimensional $\phi(\varepsilon)$ (entre 0-1) que multiplica a la función objetivo empleada en la calibración (o en la utilizada para medir la bondad de ajuste), penalizando el ajuste del modelo según el error relativo del balance cometido a lo largo de la simulación (ε). Esta función $\phi(\varepsilon)$ se puede ajustar con el fin de modular el grado de penalización que se le quiera asignar al error relativo cometido. Así, $\phi(\varepsilon)$ posibilita detectar si el modelo ha cometido errores en el balance aunque se hayan obtenido elevados valores de bondad de ajuste, indicando que el modelo hidrológico no está recreando correctamente la hidrología de la cuenca y que hay procesos que no se han reproducido adecuadamente. Y también se puede emplear para forzar al modelo a que reduzca sus errores de balance si se aplica directamente a la función objetivo.

El uso de esta función $\phi(\varepsilon)$ se ha puesto en práctica en la modelización hidrológica de la cabecera del Tajo mediante la aplicación del modelo de balance mensual *abcd* (Thomas, 1981) de forma agregada en trece subcuencas. Los parámetros se han

determinado mediante calibración en cascada. Los resultados indican que hay una buena bondad de ajuste si el análisis se centra en el coeficiente de Nash, al ser superior a 0,70 en siete de estas subcuentas y solo inferior a 0,6 en dos. Tras aplicar la función adimensional, seis cuencas pasan a tener un valor de ajuste nulo, ya que existe un elevado error en el balance de las mismas. Los errores obtenidos varían entre -77% y 405% lo que revela que hay cuencas en las que la hidrología no se está reproduciendo correctamente. En estos casos el modelo tiende o a acumular agua en el depósito que simula el almacenamiento subterráneo (balance positivo), o a liberar más agua de la existente al establecer un volumen inicial elevado en el depósito subterráneo de forma ficticia (balance negativo). Así, la función $\phi(\epsilon)$ ha demostrado ser una potente herramienta para detectar posibles errores en la modelización que, para el caso de estudio, pueden deberse a que no se están teniendo en cuenta flujos hidrológicos relevantes como podrían ser la precipitación en forma de nieve o intercambios de flujos subterráneos entre cuencas, al ser la cabecera del Tajo una zona kárstica de alta montaña.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los resultados del proyecto de investigación 19342/PI/14 financiado por la “Fundación Séneca-Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia” en el marco de PCTIRM 2011-2014.

REFERENCIAS

- BOE. 2008. Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Boletín Oficial del Estado. nº 71. Madrid. pp. 12820-12821.
- Criss, R.E., Winston, W.E. 2008. Do Nash values have value? Discussion and alternate proposals. *Hydrological Processes*, 22(14): 2723-2725, doi:10.1002/hyp.7072.
- Pedro-Monzonis, M., Jimenez-Fernandez, P., Solera, A., Jimenez-Gavilan, P. 2016. The use of AQUATOOL DSS applied to the System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEAW). *Journal of Hydrology*, 533: 1-14, doi:10.1016/j.jhydrol.2015.11.034.
- Pellicer-Martínez F, Martínez-Paz JM. 2014. Assessment of interbasin groundwater flows between catchments using a semi-distributed water balance model. *Journal of Hydrology*. 519: 1848-1858, doi:10.1016/j.jhydrol.2014.09.067.
- Ritter, A., Munoz-Carpena, R. 2013. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480: 33-45, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.12.004.
- Thomas, H.A. 1981. Improved Methods for National Water Assessment. Report, contract WR 15249270. U.S. Water Resources Council, Washington, DC.
- Wurbs, R.A. 2005. Modeling river/reservoir system management, water allocation, and supply reliability. *Journal of Hydrology*, 300(1-4), 100-113, doi:10.1016/j.jhydrol.2004.06.003.
- Zhang, L., Potter, N., Hickel, K., Zhang, Y., Shao, Q. 2008. Water balance modeling over variable time scales based on the Budyko framework - Model development and testing. *Journal of Hydrology*. 360(1-4), 117-131, doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.07.021.

Análisis comparativo de recuperación energética de bombas trabajando como turbinas considerando rendimiento fijo y variable. Caso de estudio Vallada (Valencia)

Pérez-Sánchez, Modesto^{a1} y López-Jiménez, P. Amparo^{a2*}

^a Departamento Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera S/N. 46022 Valencia.
Email: ^{a1}mopesan1@upv.es (Doctorando)
Email: ^{a2}palopez@upv.es (* autor de correspondencia)

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

El uso de las energías renovables en la sociedad actual está empujando a un avance continuo como consecuencia de la mejora en los criterios de sostenibilidad marcados por la legislación Europea. Dentro de los parámetros de sostenibilidad, los índices energéticos (e.g., huella energética del agua, eficiencia energética de la red, energía disipada) son fundamentales. Estos tienen una repercusión muy importante en el buen devenir del resultado alcanzado en el nexo agua-energía por los gestores de los sistemas hidráulicos. La búsqueda de la mejora energética no sólo está implantando el desarrollo de las auditorías energéticas en redes de distribución de presión (Cabrera et al., 2010). Recientes estudios teóricos y plantas piloto están proponiendo la sustitución de las válvulas reductoras de presión (VRP) por maquinaria hidráulica de recuperación, la cual aprovecha la energía disipada por las válvulas de regulación.

Dentro de la disponibilidad de los tipos de maquinaria hidráulica de recuperación, diferentes investigadores han mostrado la gran adaptabilidad, correcto funcionamiento y viabilidad económica que presentan las bombas trabajando como turbinas (PATs, en adelante, por las siglas de la nomenclatura “pump as turbines”), (Ramos y Borga, 1999; Carravetta et al., 2014). No obstante, previo al análisis de energía recuperable, es necesario conocer la distribución de caudales y alturas máximas en aquellas localizaciones candidatas a recibir una PAT. En algunos casos, estos estudios se desarrollan considerando los caudales medios de funcionamiento (Sitzenfrei y von Leon, 2014) o bien, a través de metodologías calibradas que estiman valores de caudal y altura máxima recuperable en función de los parámetros de los nudos de la red (Pérez-Sánchez et al., 2016; 2017). El análisis de estos sistemas conduce al desarrollo de metodologías de optimización (e.g., ‘simulated annealing’), en los cuales, se maximiza la energía recuperable del sistema en función del número de turbinas y su localización (Samora et al., 2016). Por tanto, una correcta determinación del valor de energía recuperable es crucial para garantizar el éxito en estas estrategias y su posterior análisis de viabilidad económica. La energía recuperada por una máquina hidráulica viene establecida por caudal y altura recuperada, así como por el rendimiento que tiene la máquina en ese punto. El desconocimiento a priori de estos valores de rendimiento, dificulta el análisis de la recuperación teórica, y en la mayoría de los casos se opta por un análisis considerando un rendimiento constante.

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un análisis comparativo, en una misma red de distribución, para mostrar la importancia de considerar el rendimiento variable en función del caudal, cuando se desarrollan análisis de energía recuperable. El análisis del problema se apoya en la metodología desarrollada por Pérez-Sánchez et al, (2016), la cual determina la curva de modulación horaria de la demanda de cada uno de los nudos de consumo en función de las necesidades de riego. Definidas las curvas de modulación, la red es simulada mediante el software WaterGEMS® bajo licencia educacional (Nazari y Meisami, 2008), determinando el valor de energía recuperada atendiendo a curvas teóricas de PATs. Este proceso previo es fundamental, de manera anterior a la optimización para seleccionar los mejores emplazamientos de turbinas en una red de distribución.

El análisis comparativo se lleva a cabo en una línea (línea 22, Figura 1. Izda) de la red de distribución de riego a la demanda localizada en Vallada (Valencia). Determinada la altura teórica recuperable en función del caudal circulante por la

línea en cada instante y garantizando la presión mínima de servicio en la red, se selecciona una PAT (Figura 1. Izda) de la cual se conocen sus curvas teóricas de caudal-altura (Q-H) y caudal-rendimiento (Q- η).

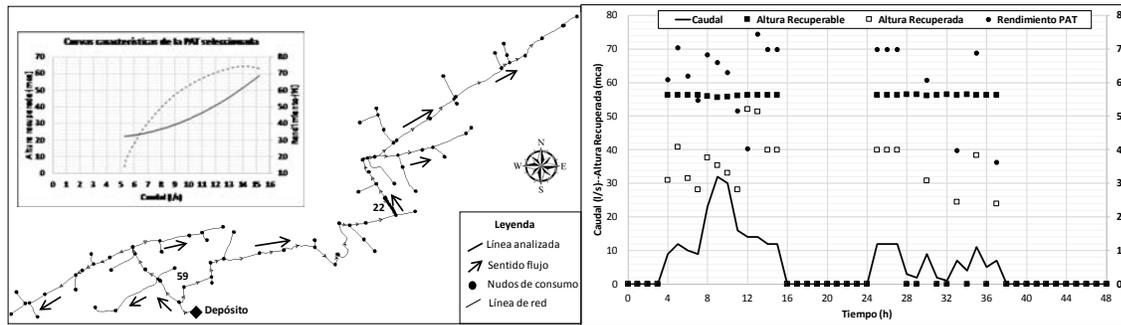


Figura 1 | Topología de la red y curva de PAT seleccionada (Izda). Caudal, altura recuperable, altura recuperada y rendimiento (dcha).

En un análisis de los resultados, se describe la variabilidad de valores obtenidos de energía recuperada cuando las curvas teóricas son tenidas en cuenta (Figura 1. Dcha). Si se considera un rendimiento medio (igual a 0.55 (Castro, 2006)) y los valores disipados (Q, H) por la válvula reductora de presión, la energía teórica recuperable es 46.06 MWh/año. Si la simulación es abordada considerando la curva característica Q-H y el rendimiento medio de la PAT (0.46), la energía recuperada es 12.87 MWh/año, suponiendo una reducción del 72.04% frente a la energía recuperable. Finalmente, si la simulación es abordada considerando ambas curvas características de la máquina, la recuperación es igual a 9.81 MWh/año, reduciéndose la energía recuperada un 78.71% respecto la energía teórica recuperable y un 23.41% si es comparado con el valor obtenido con la energía recuperable considerando la curva Q-H. Este primer análisis muestra la importante repercusión que tiene considerar o no las curvas características de las máquinas cuando se desarrollan los estudios que buscan mejorar el nexo agua-energía.

REFERENCIAS

- Cabrera, E., Pardo, M.; Cobacho, R., Cabrera Jr., E., 2010. *Energy audit of water networks*. Journal Water Resource Planning and Management. 136, 669–677. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000077
- Carravetta, A., Fecarotta, O., Del Giudice, G., Ramos, H.M. 2014. Energy Recovery in Water Systems by PATs: A Comparisons among the Different Installation Schemes. *Procedia Engineering* 70: 275–84.
- Castro, A., 2006. Minicentrales Hidroeléctricas. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía., Madrid.
- Nazari, A., Meisami, H., 2008. Instructing WaterGEMS Software Usage. Tehran.
- Ramos, H., Borga. A. 1999. Pumps as Turbines: An Unconventional Solution to Energy Production. *Urban Water* 1(3): 261–63.
- Sitzenfrei, R, von Leon, J. 2014. Long-Time Simulation of Water Distribution Systems for the Design of Small Hydropower Systems. *Renewable Energy* 72: 182–87.
- Pérez-Sánchez M, Sánchez-Romero F, Ramos H, López-Jiménez P. Modeling Irrigation Networks for the Quantification of Potential Energy Recovering: A Case Study. *Water*. 2016;8(6):1-26. doi:10.3390/w8060234.
- Pérez-Sánchez M, Sánchez-Romero F, Ramos H, López-Jiménez P. Calibrating a flow model in an irrigation network: Case study in Alicante, Spain. *Spanish Journal Agricultural Research*. 2017;15(1): e1202. doi: 10.5424/sjar/2017151-10144.
- Samora, I., Franca, M., Schleiss, A., Ramos, H., 2016. Simulated Annealing in Optimization of Energy Production in a Water Supply Network. *Water Resources Management* 30, 1533–1547. doi:10.1007/s11269-016-1238-5

Modelo empírico del patrón de humedad en un suelo orgánico de México con riego por goteo superficial

Jorge Víctor Prado Hernández^{a,e}, Magali Ismene Gonzáles Rivas^{b,e}, Aleida Mota Lezama^{b,e}, Mauricio Carrillo García^{c,e}, Mario Alberto Vázquez Peña^{c,e}, Homero Lugo Valenzuela^{d,e} y Óscar Gerardo Valentín Paz^{c,e}

^aProfesor-Investigador, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo (vpradohdez@gmail.com, ac12493@chapingo.mx)

^bIngeniero, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. (magali.ismene@gmail.com, aleidamotalz@gmail.com)

^cProfesor-Investigador, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo (mauricio@correo.chapingo.mx, mavp52@hotmail.com)

^dEstudiante de doctorado, Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua (hlv_300@hotmail.com)

^eCarretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230, México.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Con la finalidad de contar con información de apoyo para mejorar el diseño y la operación de un riego por goteo superficial en México, esta investigación abordó el estudio y la representación matemática del patrón de humedecimiento en un suelo agrícola con tres contenidos de materia orgánica y goteros de dos caudales. En esta investigación se obtuvieron dos ecuaciones empíricas no lineales para estimar la profundidad en el centro (z) y el diámetro (d) del bulbo húmedo del suelo a través del tiempo (Figura 1a) y se compararon sus resultados con los de las ecuaciones encontradas por Zur y Schwartzman (1986), Amin y Ekhmaj (2006), y Keyvan y Troy (2011), con información obtenida de un experimento realizado en contenedores de plástico en un sitio con techo para garantizar que la humedad del suelo fuera proveniente exclusivamente del riego aplicado (Figura 1b). También se obtuvo la distribución de la humedad, midiéndola en el centro de los cuadros de una cuadrícula trazada transversalmente en el bulbo húmedo (Figura 1c). La geometría del patrón de mojado y el contenido de humedad se obtuvieron a 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 minutos, con tres repeticiones en cada tratamiento.

El estudio se hizo en un suelo de textura franco arenoso arcilloso (arena=57.5%, arcilla=20.5% y limo=22.0%), según la clasificación del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), al que se le agregó materia orgánica (MO) proveniente de residuos de cosecha de maíz, resultando un suelo testigo con un 1.75% de MO en su estado natural (tratamiento T1) y dos tratamientos más (T2 y T3), con 2.69 y 2.82 % de MO, respectivamente. Las diferencias en los contenidos de MO modificaron notablemente la densidad aparente (D_a) la conductividad hidráulica (K_s): los valores de la D_a fueron 1.52, 1.38 y 1.12 g/cm^3 para los tratamientos T1, T2 y T3, respectivamente; y para la K_s resultaron de 11.4, 31.9 y 44.4 cm/h , respectivamente.

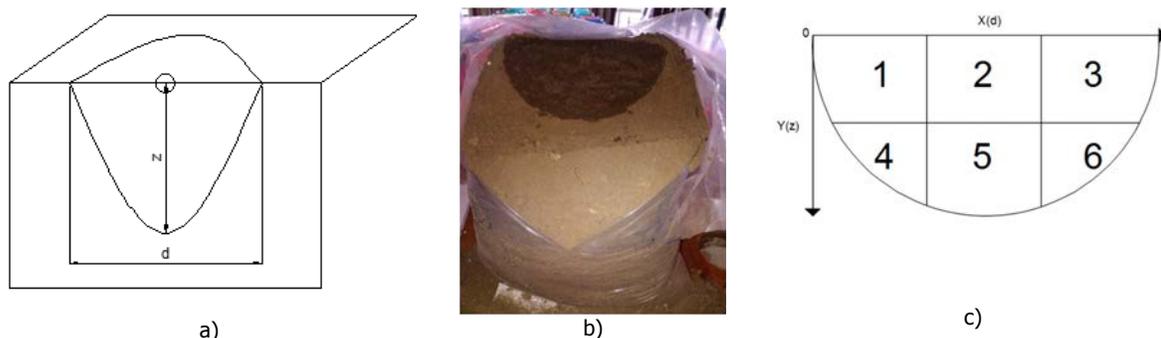


Figura 1 | Experimento.

Los modelos evaluados tienen la siguiente estructura

Zur y Schwartzman (1986)

$$d = 1.82 V^{0.22} \left(\frac{Ks}{q}\right)^{-0.17} y \quad z = 2.54 V^{0.63} \left(\frac{Ks}{q}\right)^{0.45} \quad (1)$$

Amin y Ekhmaj (2006)

$$d = 0.2476 \Delta\theta^{-0.5626} V^{0.2686} q^{-0.0028} Ks^{-0.0344} y \quad z = 2.0336 \Delta\theta^{-0.383} V^{0.365} q^{-0.101} Ks^{-0.195} \quad (2)$$

Keyvan y Troy (2011)

$$d = q^{0.543} Ks^{0.772} t^{0.419} \Delta\theta^{-0.687} Da^{0.305} y \quad z = q^{0.398} Ks^{0.208} t^{0.476} \Delta\theta^{-1.253} Da^{0.445} \quad (3)$$

Propuesto en este trabajo

$$d = A_1 q^{\alpha_1} Ks^{\beta_1} t^{\nu_1} \Delta\theta^{\delta_1} D_a^{\lambda_1} MO^{\varepsilon_1} y \quad z = A_2 q^{\alpha_2} Ks^{\beta_2} t^{\nu_2} \Delta\theta^{\delta_2} D_a^{\lambda_2} MO^{\varepsilon_2} \quad (4)$$

donde z es el avance vertical del frente de humedad (cm) en el centro del bulbo húmedo; d es el diámetro de mojado en la superficie (cm); V es el volumen de agua aplicado (m³); q es el gasto del emisor (l/h); Ks es la conductividad hidráulica a saturación (cm/h); $\Delta\theta$ es la humedad inicial en el suelo (cm³/cm³); θ es la humedad inicial en el suelo (cm³/cm³); Da es la densidad aparente del suelo (gr/cm³); t es el tiempo del riego (h); MO es el contenido de materia orgánica (%); A₁= 5.426, A₂= 10.7989, α_1 = 0.0418, α_2 = 0.6030, β_1 = -0.0179, β_2 = -0.0277, ν_1 = 0.3216, ν_2 = 0.3378, δ_1 = -0.0232, δ_2 = 0.0109, λ_1 = -0.1535, λ_2 = -0.0770, y $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$ son coeficientes empíricos de ajuste óptimo.

Según los valores del error medio (ME), de la raíz del cuadrado medio del error (RMSE), de la eficiencia del modelo (EF) (conocido también como coeficiente de Nash-Sutcliffe) y del coeficiente de determinación (r²), el modelo propuesto en esta investigación resultó notablemente mejor que el resto de los modelos analizados (Tabla 1). Pruebas de Bartlett realizadas en secuencia del gasto de los emisores, tiempos de riego y contenidos de MO, con una probabilidad de 0.05 indicaron que no existen diferencias significativas de las varianzas de los tres tratamientos e implica que los residuales generados por el modelo no presentan una tendencia definida en los tratamientos estudiados.

Tabla 1 | Resultados de los parámetros estadísticos de los modelos estudiados.

Modelo	ME (cm)		RMSE (cm)		EF		r ²	
	d	z	d	z	d	z	d	z
Zur y Schwartzman (1986)	4.73	11.28	5.85	14.22	-0.63	-20.02	0.44	0.48
Amin y Ekhmaj (2006)	4.12	14.74	42.72	24.41	-85.67	-60.94	0.44	0.17
Keyvan y Troy (2011)	53.59	20.49	66.95	28.19	-211.84	-81.55	0.22	0.01
Propuesto	0.11	0.23	1.25	0.83	0.90	0.92	0.92	0.93

Respecto al patrón de distribución de la humedad, se observó que a mayor contenido de MO incrementa el diámetro y disminuye la profundidad del bulbo húmedo. En los tres tratamientos el contenido de humedad resultó mayor en la zona cercana al gotero, disminuyendo gradualmente conforme se aproxima al perímetro del bulbo de humedecimiento. Se apreció una mayor uniformidad de la distribución de la humedad a medida a que incrementa el contenido de MO, observándose menor diferencia de humedad entre el centro y el perímetro del bulbo húmedo en el tratamiento tres.

REFERENCIAS

Amin, M. S. M., Ekhmaj, A. I. M. 2006. DIPAC-Drip Irrigation Water Distribution Pattern Calculator. 7th International Micro Irrigation Congress, 10-16 Sept. Pwtc, Kuala Lumpur, Malaysia.

Keyvan, M., Troy, P. 2011. Wetting Pattern Models for Drip Irrigation: New Empirical Model. *J. Irrig. Drain. Eng.* 534(8), 1-7. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000320#sthash.MIqoZBsT.dpuf](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000320#sthash.MIqoZBsT.dpuf)

Schwartzman, M., Zur, B. 1986. Emitter Spacing and Geometry of Wetted Soil Volume. *J. Irrig. Drain. Eng.* 112(3), 242-253.

Identificación de los mecanismos dominantes en cuencas sin aforos empleando una aproximación bayesiana

Prieto, C.^{a1,b1,c}, Le Vine, N.^{b2}, Vitolo, C.^d, García, E.^{a2}, Medina, R.^{a3} y Álvarez, C.^{a4}

^a Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria - Avda. Isabel Torres, 15, Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, 39011, Santander, España. E-mail: ^{a1}prietoc@unican.es, ^{a2}edelwar@gmail.com, ^{a3}medinar@unican.es, ^{a4}alvarezc@unican.es;

^b Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, Skempton Building. South Kensington Campus London, SW7 2AZ- E-mail: ^{b1}c.prieto13@alumni.imperial.ac.uk, ^{b2}n.le-vine@imperial.ac.uk

^c Civil Engineering, University of Bristol, University Walk, Bristol, BS8 1TR, UK. E-mail: c1 cp14186@my.bristol.ac.uk

^d European Center For Medium Range Weather Forecasts Shinfield Park, Reading RG2 9AX, UK. E-mail: claudia.vitolo@ecmwf.int

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Este trabajo propone una metodología estadística para identificar los mecanismos que gobiernan el comportamiento en cuencas sin aforos a partir de un conjunto de estructuras de modelos hidrológicos y la información hidrológica regionalizada en dichas cuencas. Los mecanismos identificados como dominantes sirven de base para definir la estructura mínima que debe de tener un modelo hidrológico y por lo tanto, la metodología plantea el camino para reducir su incertidumbre estructural.

En el conjunto de modelos hidrológicos, cada estructura se representa mediante una combinación de mecanismos y los mecanismos se tratan como una muestra de un conjunto de mecanismos completo (pero inobservable). Además, empleando un enfoque bayesiano, la información dada por un grupo ortogonal compacto de piezas de información hidrológica (componentes principales) regionalizada mediante bosques aleatorios es asimilada en el conjunto de mecanismos.

La aplicación de los desarrollos metodológicos al caso práctico de predecir los mecanismos dominantes en las cuencas del tercio norte de España (Figura 1) revela los siguientes hallazgos:

1. Cuando existe error asociado al modelo (caso BC y R en Figura 1), mejorar la regionalización no implica necesariamente una mejor identificación de los mecanismos dominantes. Sólo cuando el error del modelo es pequeño o eliminado y se emplea una gran cantidad de la información disponible, mejorar la calidad de la regionalización lleva a una mejor identificación de los mecanismos (caso MRI en Figura 1 y Figura 2).
2. Cuando no existe error asociado al modelo y hay disponible una gran cantidad de información bien regionalizada, el procedimiento propuesto para identificar los mecanismos dominantes es fiable (caso MRI: B en Figura 1).
3. El contenido de información en los primeros cuatro componentes principales permite identificar los mecanismos dominantes para los procesos de enrutamiento, evaporación, flujo lateral y escorrentía (casos BC, R, M y MR en Figura 1).
4. El extenso conjunto de índices hidrológicos típicamente considerados [Olden and Poff, 2003] puede no ser suficiente para identificar 1) los mecanismos que gobiernan el comportamiento en la capa superior del suelo y 2) los mecanismos que gobiernan el proceso de percolación (casos BC, R, M, MR y MRI en Figura 1).

La identificación de los mecanismos dominantes es sensible 1) al error del modelo, que incluye la estructura y sus datos de entrada, 2) a la calidad de la regionalización y 3) a la cantidad de información (Figuras 1 y 2).

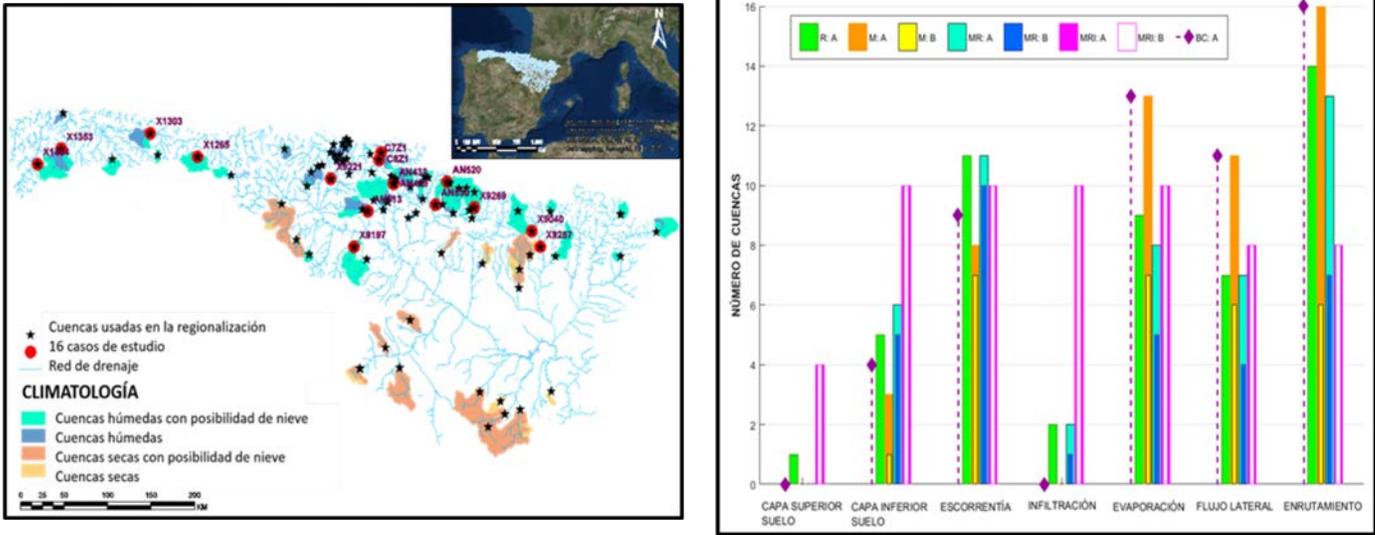


Figura 1 | Casos de estudio y climatología (izquierda). Mecanismos identificados (A) y correctamente identificados (B) para el caso BC (se emplean los datos de observaciones), R (se mejora la calidad de la regionalización), M (el modelo hidrológico es perfecto), MR (combina los casos BC y M) y MRI (igual al caso MR pero se emplea un 90% de la información hidrológica disponible) (derecha).

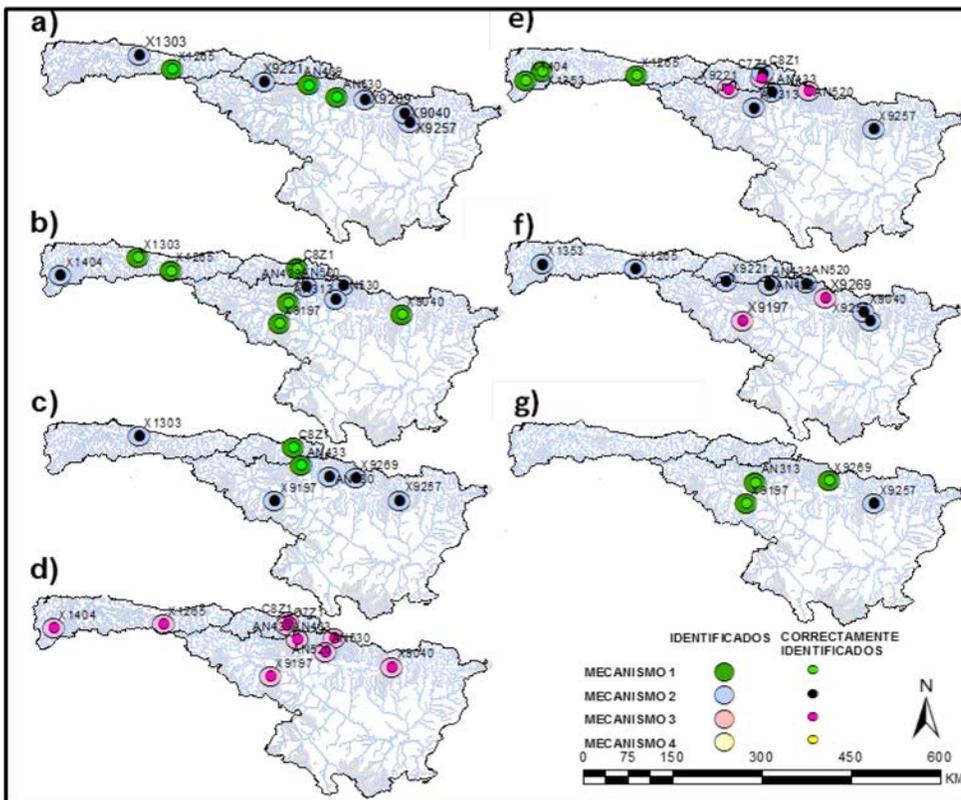


Figura 2 | Caso MRI: mecanismos identificados para los procesos a) enrutamiento, b) evaporación, c) flujo lateral, d) escorrentía, e) procesos en la capa inferior del suelo, f) infiltración y g) procesos en la capa superior del suelo.

REFERENCIAS

Olden, J. D. and Poff, N. L. (2003), Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Res. Applic.*, 19: 101–121. doi: 10.1002/rra.700

Cuantificación de la incertidumbre estructural de los modelos hidrológicos en predicciones en cuencas sin aforos.

Prieto, C.^{a1,b1,c}, Le Vine, N.^{b2}, Vitolo, C.^d, García, E.^{a2}, Medina, R.^{a3} y Álvarez, C.^{a4}

^a Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria - Avda. Isabel Torres, 15, Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, 39011, Santander, España. E-mail: ^{a1}prietoc@unican.es, ^{a2}edelwar@gmail.com. ^{a3}medinar@unican.es ^{a4}alvarezc@unican.es;

^b Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, Skempton Building. South Kensington Campus London, SW7 2AZ- E-mail: ^{b1}c.prieto13@alumni.imperial.ac.uk, ^{b2}n.le-vine@imperial.ac.uk

^c Civil Engineering, University of Bristol, University Walk, Bristol, BS8 1TR, UK. E-mail: c1 cp14186@my.bristol.ac.uk

^d European Center For Medium Range Weather Forecasts Shinfield Park, Reading RG2 9AX, UK. E-mail: claudia.vitolo@ecmwf.int

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Una cuenca es un sistema complejo dónde ocurren una multitud de procesos de energía, agua y vegetación de forma interrelacionada a diferentes escalas espaciales y temporales. Un modelo hidrológico es una representación simplificada de este sistema y sirve como hipótesis acerca del funcionamiento interno de una cuenca. En predicciones en cuencas sin aforos, la práctica habitual es usar la misma estructura de modelo pre-seleccionada para representar el comportamiento en todas las cuencas analizadas. Esto, a pesar de que generalmente no está demostrada su aptitud y adecuación (debido a la falta de observaciones de caudal), ni existe una justificación obvia para usar una única estructura.

Este artículo avanza algunos de los retos principales que aparecen en modelado hidrológico, centrándose en el problema del 'enfoque único' para el caso de predicción de caudales en cuencas sin aforos: 1) La clásica hipótesis de que un modelo pre-seleccionado (que incluye su estructura, datos de entrada y parámetros muestreados) es perfecto. 2) La hipótesis de que el procedimiento de regionalización pre-seleccionado es una representación aceptable y adecuada del comportamiento en una cuenca sin aforos. Y 3) La identificación de los mecanismos que dominan el comportamiento hidrológico, los cuales deben de ser representados en el modelo del sistema y que definen la estructura mínima necesaria de un modelo hidrológico.

Primero, se han incorporado los nuevos desarrollos en selección de índices hidrológicos (basado en análisis de componentes principales) y métodos de regionalización mediante regresión (bosques aleatorios) en el proceso de condicionamiento de las predicciones hidrológicas. Así, se ha reducido un vasto número de índices a un conjunto ortogonal compacto de piezas de información (componentes principales), que posteriormente se han regionalizado mediante bosques aleatorios. Esta información regionalizada se ha asimilado en las predicciones hidrológicas mediante un condicionamiento bayesiano.

Segundo, se han propuesto dos métricas estadísticas para evaluar la aptitud y adecuación de un modelo y/o procedimiento de regionalización seleccionados en base a a) cómo de bien el modelo y/o la regionalización reproducen la información hidrológica disponible y b) el conocimiento adquirido al considerar el modelo con respecto a considerar sólo la regionalización y el conocimiento adquirido al considerar la regionalización con respecto a considerar únicamente el modelo. Además, se ha cuantificado el impacto que tienen en la predicción de caudales el error del modelo y/o la calidad de la regionalización.

Tercero, se ha diseñado un test estadístico (el cual emplea un conjunto de modelos hidrológicos) que permite identificar los mecanismos hidrológicos que gobiernan los procesos en las cuencas sin aforos. Para ello se ha empleado un enfoque bayesiano. Además, se ha analizado la sensibilidad del proceso de identificación de mecanismos a: la calidad de la regionalización, el conjunto de modelos empleado y el contenido de información disponible.

Los desarrollos metodológicos realizados se han aplicado al caso práctico de predecir las variables hidrológicas en las cuencas del tercio norte de España (Figura 1). Los resultados muestran que la calidad de las predicciones es sensible al error del modelo (o conjunto de modelos) hidrológico, la calidad de la información regionalizada y el contenido de información disponible (Figuras 2, 3 y 4).

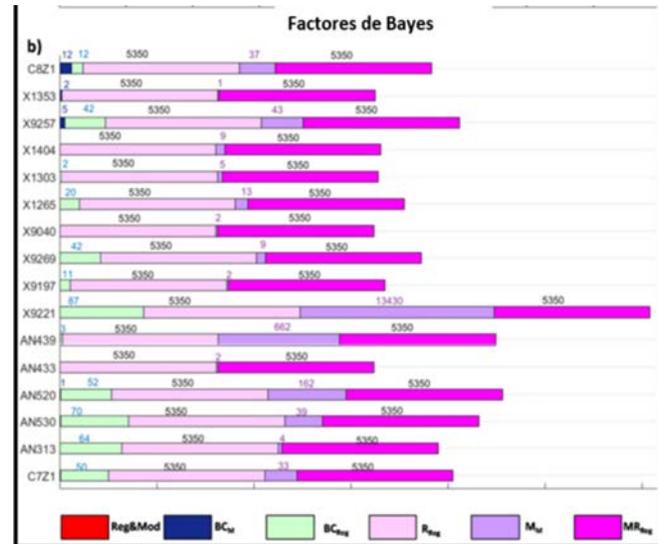
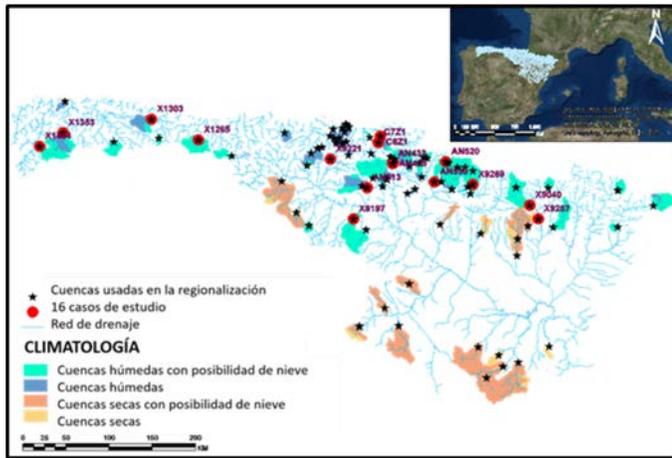


Figura 1 | Casos de estudio y climatología (izquierda). Métricas de adecuación. Un modelo o procedimiento de regionalización es adecuado si el factor de Bayes es mayor que 1 (derecha).

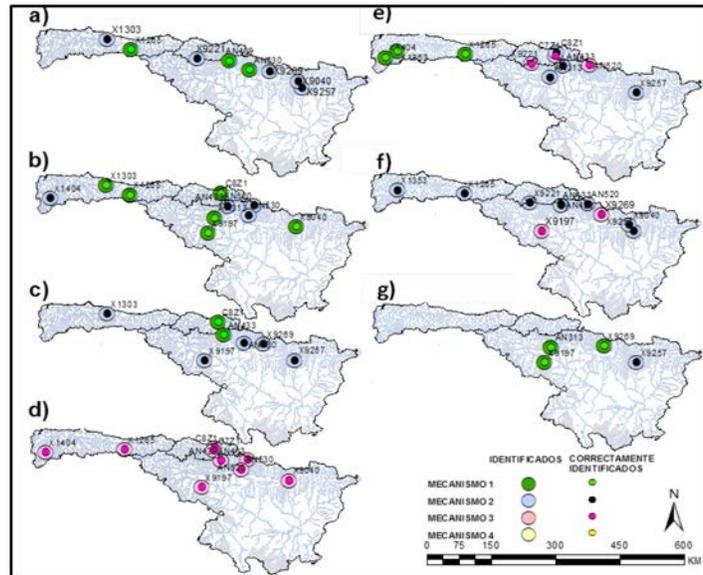
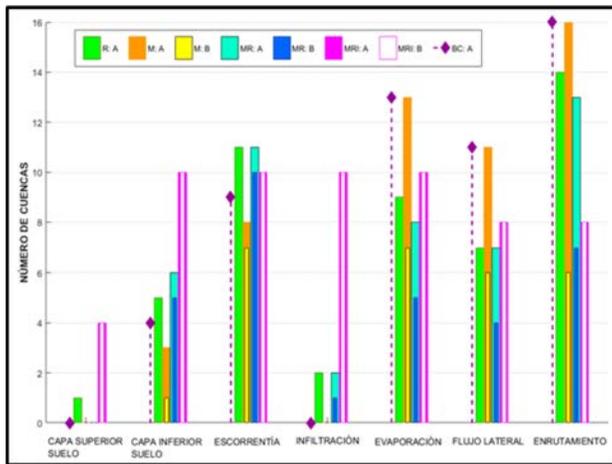


Figura 2 | Mecanismos identificados (A) y correctamente identificados (B) para BC (se emplean los datos de observaciones), R (se mejora la calidad de la regionalización), M (el modelo hidrológico es perfecto), MR (combina los casos BC y M) y MRI (igual al caso MR pero se emplea un 90% de la información hidrológica disponible) (izquierda). Caso MRI: mecanismos identificados para los procesos a) enrutamiento, b) evaporación, c) flujo lateral, d) escorrentía, e) procesos en la capa inferior del suelo, f) infiltración y g) procesos en la capa superior del suelo (derecha).

Prospección geofísica eléctrica en la búsqueda de agua subterránea

Reyes A.¹, Coras P. M.², Arteaga E.³

^{1,2,3} Profesores investigadores del Departamento de Irrigación, Sección de Geohidrología y Aprovechamientos Hidráulicos de la Universidad Autónoma Chapingo. 595 95 216 49. areyes@correo.chapingo.mx; artrem71@gmail.com ; mpcoras@gmail.com

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

La prospección geofísica eléctrica, por sus principios físicos ha sido usada para la búsqueda de agua subterránea, la historia de su descubrimiento, uso y aplicación fue a principios del siglo XX, los descubrimientos de Robert Fox en la denominada polarización espontánea abrió la puerta para el desarrollo de esta ciencia desde 1815. Orellana, (1982), ha participado con una infinidad de investigadores de todo el mundo, destacando Conrad Schlumberger de la escuela franco-soviética y Wenner de la escuela americana, como algunos de los principales aportadores de la prospección geofísica eléctrica vertical, sus arreglos interelectrónicos son extensamente usados en la actualidad, sin embargo, el desarrollo de nuevos dispositivos, las matemáticas aplicadas, los ordenadores cada vez más potentes, han hecho que se desarrollen nuevos métodos de exploración, mucho más detallados, tal es el caso de la tomografía Geoeléctrica en dos dimensiones y tres dimensiones, métodos que prácticamente describen el subsuelo con detalles impresionantes, donde la ingeniería general les pueden dar muchas aplicaciones, este trabajo está enfocado a la prospección de agua subterránea, sus usos se pueden extender a aplicaciones geotécnicas, mecánica de suelos, física de suelo, relaciones agua suelo atmósfera, ingeniería de riego, etcétera.

Se utiliza para esta investigación el equipo de prospección geofísica eléctrica marca TERRAMETER LAUND SYSTEM de manufactura sueca, modelo 2014 y sus accesorios, en donde se ha realizado prospección geofísica eléctrica con su equipo antecesor el TERRAMETER SAS 300 modelo 1990, que se han traducido en la construcción de pozos profundos para agua, como en el municipio del Arenal, Estado de Hidalgo. Los resultados indican que los métodos tienen ventajas y desventajas, es lo que se analiza en esta investigación, que tiene como objetivo decidir que método usar, dependiendo de la zona y sus condiciones geohidrológicas.

Objetivos

1. Desarrollar las aplicaciones que propone el equipo de tomografía Geoeléctrica TERRAMETER LAUND SYSTEM
2. Compararlo estas aplicaciones con su antecesor el TERRAMETER SAS 300, realizando sondeos eléctricos verticales
3. Ejemplificarlo en el Municipio del Arenal, Estado de Hidalgo. México

Metodología

La metodología es teórico experimental, implica reconocer los componentes principales del equipo a utilizar, las formas de operación, descripción de sus principios físico matemáticos, obtención de datos y análisis de resultados a través del software diseñado para esta técnica, utilizando el razonamiento lógico deductivo; hacer propuestas de interpretación de datos.

Resultados

Los resultados son evidentes, la tomografía Geoeléctrica describe perfiles mucho más detallados del subsuelo porque proporciona datos continuos, reconoce aspectos que los SEV no se alcanzan a visualizar como en el caso de la zona estudiada porque da datos discretos, por un lado con los SEV se detectó un paquete arcilloso de gran espesor, tobas arcillosas de 300

metros de profundidad, de ninguna manera es posible recomendar la perforación exploratoria en esos sitios, pero la comunidad del Arenal tiene emplazados varios pozos con diferentes antigüedades, de treinta, veinte y quince años, con extracción de gastos diversos, de 20 a 50 LPS.

La evidencia de la presencia de agua subterránea es la obtención de gastos permanentes en el paquete arcilloso, con la tomografía se alcanzan a distinguir los procesos de cizallamiento que ocurrió en el subsuelo, es donde se presenta el agua subterránea, hay que mencionar que la región pertenece a un valle volcánico Miocénico compuesto de rocas volcánicas andesíticas parcialmente metamorfizadas y mineralizadas pertenecientes al Grupo Pachuca, contienen grandes depósitos mineros de plata, oro, plomo, zinc, explotados desde la época colonial, ubicados a unos 50 km. de la zona estudiada, la capacidad de exploración del tomógrafo es menor de 100 metros, que no es por el uso del método, sino por la ausencia de mayor cantidad de cable para extender el arreglo más, en este caso su desventaja es el costo, mientras la capacidad del equipo fue para contar con cuatro carretes de 80 metros cada uno, con mayor número de los mismos el costo se incrementa mucho, en los SEV se dispone de cable para realizar arreglos simétricos de 1500 metros, lo que permite mayor profundidad, en México la profundidad del nivel estático es mayor a los 80 metros de profundidad, esto representa un impedimento para usar el tomógrafo en la búsqueda de agua subterránea, sin embargo se le están reconociendo otras aplicaciones superficiales:

Determinar el flujo de contaminantes al acuífero desde la superficie del suelo, o trabajos ingenieriles menos profundos.

Instalación de tubería para gasoductos.

Trabajos de mecánica de suelos.

Las ventajas de los SEV es que son fáciles de mover en el terreno, incluso cargándolo, el tomógrafo requiere vehículos todo terreno para llegar a los sitios de exploración, el equipo es voluminoso y pesado, con los SEV se profundizan más la exploración pero hay que contar con adecuados conceptos en Geoelectrica y Geología para realizar una adecuada interpretación, y tomar una decisión correcta cuando se va a realizar la inversión económica con la perforación de un pozo para agua.

REFERENCIAS

- ARIAS D. E. (2011). Exploración Geotécnica – Relaciones Geoelectricas. Maestría en Ingeniería Geofísica. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- AUGE M. I (2008). Métodos Geoelectricos para la prospección de aguas subterráneas. Universidad de Buenos Aires. Argentina
- ABEM Instrument (1992). “Manual de instrucciones del Resistivímetro SAS 1000”. ABEM Instrument AB. 92págs.
- ORELLANA, E (1982): “Prospección Geoelectrica en corriente continua”. Biblioteca Técnica Philips. 580 págs.
- QUINTANA B. Á. (2013). Aplicación de la tomografía eléctrica en la caracterización del deslizamiento de Dona Mencia. Tesis de Master. Universidad de Granada, España.
- ZÚÑIGA L. R. (2015). Detención de zonas de riego en Cd. De Guatemala. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería de la UNAM, México D.F.

Aplicabilidad Técnica y Normativa de Reúso para Riego Agronómico. Aplicación en el Cinturón Verde de Córdoba, Argentina

Santiago Reyna^a, Teresa Reyna^b, María Lábaque^c, Marta Julia^d

^a Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba santiagoreyna@gmail.com, ^b Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, teresamaria.reyna@gmail.com, ^c Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, mlabaque@gmail.com, ^d Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, dramartajulia@gmail.com.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Introducción

La Provincia de Córdoba, en la actualidad, sufre repetidos eventos de inundaciones y otras que sufren ciclos de sequía, debido al cambio de uso de suelo, deforestaciones, incendios y el cambio climático. Zonas productivas y conglomerados poblacionales, se han visto y se ven afectados negativamente por los efectos del cambio climático. Esto impone la necesidad de desarrollar estrategias preventivas de remediación e implementación tecnológica, integrando condiciones que favorezcan el desarrollo sustentable en sus comunidades que reduzcan el riesgo de inundaciones y planteen una gestión del agua que reduzca los conflictos por el agua. La zona del gran Córdoba se encuentra en una zona de déficit hídrico donde el aumento de la población junto con las necesidades de producción de verduras en el denominado cinturón verde de Córdoba están llevando a una situación cada vez de mayor conflicto por el agua. Esta situación hace necesario plantear estrategias que permitan un desarrollo sustentable. Dentro de estas estrategias fue necesario primero adecuar la legislación y luego avanzar con soluciones globales. La Legislatura Unicameral de la Provincia de Córdoba aprobó la Ley 10208 del año 2014 que plantea nuevos y modernos instrumentos de gestión, entre otros la facultad de fijar normas y estándares ambientales. Este nuevo reglamento, novedosamente, norma al viejo Código de Aguas y la nueva Ley de Política Ambiental, entendiéndose de esta manera que no hay posibilidad de seguir concibiendo al agua de forma aislada sino como factor fundamental e interrelacionado del medio ambiente. En el año 2015 se reglamenta el Decreto 847. La nueva norma expresa, que los estándares y normas fijan reglas técnicas a las que deben ajustarse las personas físicas o jurídicas -públicas o privadas- en sus actividades potencialmente impactantes para evitar efectos perjudiciales sobre el ambiente como consecuencia de esa actividad. Quedan comprendidas en esta normativa las actividades antrópicas que genere efluentes líquidos (la norma en cuestión es EVA, Estándares para Volcamiento de Aguas).

Los Sistemas de Riego en la Zona del Gran Córdoba

El agua potable de Córdoba se obtiene desde dos plantas potabilizadoras, cada planta potabilizadora abastece de agua a un sector de la ciudad que recibe el nombre de sistema. El agua producida por la planta Suquía (sistema Suquía) alimenta la zona norte del río Suquía con una capacidad de abastecimiento de 5 m³/s, mientras que la planta Los Molinos (Sistema Los Molinos) al sector sureste de la ciudad con una capacidad de abastecimiento de 2 m³/s. El segundo gran consumidor de agua es el riego. La zona del gran Córdoba históricamente (Cinturón verde) fue regada a través de los canales de riego que permitían la producción de hortalizas y verduras para la ciudad de Córdoba y sus zonas aledañas. Actualmente el sistema de canales original se encuentra en uso, aunque no en su totalidad y además se construyó el canal Los Molinos- Córdoba que permitió aumentar la zona sur de riego original. El riego toma alrededor de 2,5 m³/s del río Suquía, no pudiendo abastecerse siempre, tendiendo a su reducción permanente. Considerando la proyección del aumento de la cantidad de habitantes para los años futuros y la dotación de agua cruda de 316 l/(hab.d) (Reyna S. y otros, 2012). Por otra parte el 54% de la población de la ciudad de Córdoba tiene red

de cloaca y vuelca sus aguas clocales en la planta de tratamiento de Bajo Grande ubicada en el noreste de Córdoba. El planteo actual es el desarrollo de tecnologías de reúso y riego sustentable para aprovechar las aguas residuales tratadas en un sector sin desarrollo de agricultura en la zona cercana a la planta de Bajo Grande.

Conclusiones

Es claro que no sólo es importante tener en cuenta la cantidad de agua necesaria para cada uso sino especialmente la calidad. Este aspecto es particularmente importante porque no es necesario usar aguas de la misma calidad para diferentes usos. Por ejemplo la costumbre de realizar el riego de espacios verdes con agua potable no es sustentable. Si se realiza un planteo más integral se podría utilizar aguas de diferente calidad para los diferentes usos. El uso de aguas grises adecuadamente tratadas para riego está aprobado por las legislaciones internacionales y es aceptado por las legislaciones nacionales pero su implementación no se encuentra muy desarrollada debido a que las tecnologías de tratamiento que deben aplicarse no se encuentran debidamente difundidas existiendo problemas de calidad para poder ser reutilizadas para las diferentes aplicaciones.

Si se realizara un tratamiento adecuado en la planta de Bajo Grande y el sistema para reingresar estas aguas al sistema de riego se podrían obtener dos beneficios, por un lado garantizar los caudales para riego y se podrían liberar los caudales que actualmente se utilizan para riego para disponerlos para otros usos además de los beneficios para el Río Suquia como cuerpo receptor. Esto implicaría incorporar a la oferta $2\text{m}^3/\text{s}$ hoy perdidos y que contaminan el recurso (al presente se está comenzando con la ampliación que la llevará a una capacidad de $4\text{m}^3/\text{s}$). Resulta muy atractiva esta incorporación como opción en la gestión de la oferta: “el uso de nuevas tecnologías apuntando a la reutilización y el reciclado del agua, así como de sus nutrientes”, es decir pensar en el reúso como una virtual nueva “fuente”. Con este objetivo este equipo trabajó junto con otros equipos de 10 países en el Proyecto COROADO (2016) (con subsidio de la Unión Europea) introduciendo en nuestro medio el reúso planteando su implementación y propendiendo a su aceptación por medio de la ejecución de talleres, un congreso internacional y participando en charlas, debates y entrevistas periodísticas con el fin de la divulgación en el ámbito profesional y general del tema lo que ayudó al desarrollo de la nueva ley 10208. El equipo que hoy se ha transformado en referente provincial, nacional y regional, continúa avanzando luego de haber sido receptor de la transferencia de tecnología que el proyecto Coroado significó. Quedan hoy como desafíos: aplicar en gran escala el reúso para riego y resolver los problemas tecnológicos que plantea el uso agronómico de efluentes, que se practica pero sin las tecnologías y normas que garanticen su sustentabilidad ambiental.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto Coroado “COROADO: Tecnologías para Reúso y Reciclaje de Agua en el Contexto Latinoamericano”, y la Secretaria de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba.

REFERENCIAS

COROADO, 2016. <http://www.coroado-project.eu/>

Reyna, S., Reyna, T., Lábaque, M., Julia, M., Conforti, J. 2016. Reúso Agrícola y Uso Agronómico: Análisis de Su Aplicabilidad Técnica y Normativa. Aplicación en el Cinturón Verde de Córdoba, Argentina. *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Lima, Perú

Reyna, S.; Reyna, T.; Lábaque, M.; Fulginiti F. 2012. Diagnóstico de la Provisión de Agua del Gran Córdoba. Alternativas de Solución. *XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. San José, Costa Rica.

Energía mini y micro hidráulica: aporte contra el Cambio Climático

Teresa Reyna^a, María Lábaque^b, Santiago Reyna^c, César Riha^d, Belén Irazusta Autor^e

^a Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba teresamaria.reyna@gmail.com, ^b Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, mlabaque@gmail.com, ^c Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, santiagoreyna@gmail.com, ^d Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, ingriha@gmail.com, ^e Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, belen.irazusta@gmail.com.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Introducción

El Cambio Climático se puede producir por causas naturales (por ejemplo variaciones en la energía que se recibe del Sol, erupciones volcánicas, etc) o por influencia antrópica, a través de la emisión gases que atrapan calor (Gases de Efecto Invernadero o GEI). Nada es posible hacer para reducir los gases generados de manera natural; sin embargo, la reducción de los GEI generados por las actividades humanas debe ser vista como una obligación de toda la humanidad.

De las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), el 35% corresponden al sector energético (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015). Las medidas de mitigación deben dirigirse, entonces, hacia la mejora en eficiencia energética, la sustitución de combustibles fósiles y **el desarrollo de las energías renovables** en primer lugar.

El éxito de una medida de mitigación es el establecimiento de acciones que permitan a la sociedad mitigarlos con medidas que se adaptan a ella y le permitan además seguir desarrollándose. Estas medidas tienen que acompañar el desarrollo de cada sociedad, con sus singularidades socioeconómicas, políticas, culturales y tecnológicas.

Un grupo de profesores y alumnos de la Universidad Nacional de Córdoba desde el año 2010 han venido desarrollados proyectos destinados a diseñar sistemas de generación micro hidroeléctricas con el objetivo de establecer la factibilidad de construcción, desarrollo con tecnología local y difusión de esta tecnología como alternativa. Las máquinas analizadas buscan también permitir el desarrollo de comunidades aisladas sin acceso actual a la red eléctrica.

La Micro Hidrogeneración

La hidroelectricidad es una tecnología madura (las microturbinas se basan todas en diseños de casi un siglo). Lo novedoso en la hidroelectricidad a nivel de mini y microgeneración tiene hoy que ver con **dónde aplicarla, en qué escala**.

La Micro Hidrogeneración comprende una central hidroeléctrica de pequeña escala que puede abastecer de energía tanto a la red pública como a una vivienda o establecimiento rural alejado de la red de distribución. Se caracterizan por no requerir los prolongados estudios técnicos, económicos y ambientales asociados a los grandes proyectos, y se pueden iniciar y completar rápidamente, lo que los torna una opción de abastecimiento viable en aquellas zonas y regiones del país no servidas aún por sistemas convencionales. Sin embargo su uso en Argentina es todavía incipiente y no generalizado debido a principalmente al desconocimiento de las tecnologías adecuadas para llevar adelante este tipo de explotación; e insuficiencia en la tecnología específica adecuada a la región, lo que ocasiona el uso de tecnología de importación con costos elevados y bajos rendimientos, por no ajustarse a la realidad y características de la zona en estudio.

En el caso de sistemas de pequeña escala existen modelos que se aplican a las condiciones del lugar o a las posibilidades que existan para su instalación. En la Universidad de Córdoba se han desarrollado tres proyectos destinados a diseñar distinto tipo de micro turbinas con el objetivo de establecer la factibilidad de construcción y desarrollo con tecnología local.

En el período 2010-2011: se desarrolló una turbina Michell Banki, la cual fue construida completamente en talleres de Córdoba. Esta máquina se encuentra actualmente instalada en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas,

Físicas y Naturales. Del análisis de esta máquina se estableció: se adaptan muy bien para la generación en mini y micro centrales hidroeléctricas, son sencillas, tienen bajos costos de fabricación, de instalación y de mantenimiento, pueden ser utilizadas en amplios intervalos de caudal y altura sin disminuir de manera apreciable su eficiencia (Góngora, 2012). Debido a esas ventajas, la turbina Michell-Banki se ha vuelto atractiva para aprovechamientos locales.

En el período 2014-2015 Turbina Axial: Este tipo, a diferencia de una turbina Kaplan, no posee cámara espiral periférica ni conjunto de alabes móviles directores del estator. En estas máquinas el perfil de los álabes del rotor tiene características hidrodinámicas con poca curvatura, que hacen posible su construcción de diámetros de rodete bastante pequeños. Estos álabes tienen un perfil de ala de avión y desarrollo helicoidal; y su fabricación constituye el principal inconveniente para lograr un equipo económico porque requiere de fundición de precisión. El modelo se simplificó usando álabes de espesor constante curvados con lo su eficiencia bajaría al orden del 40% (Espinoza, 1991). Esta máquina está siendo construida por alumnos en los talleres de la Escuela Técnica Secundaria Cristo Obrero de la Ciudad de Carlos Paz, Córdoba, Argentina.

En el período 2016-2017: Turbina Turgo: esta Turbina consiste básicamente en un inyector del tipo Pelton que proyecta un chorro de agua inclinado respecto al eje del Rodete. El Rodete se asemeja a un medio rodete Pelton. Ventajas: el rodete es más barato de fabricar que el de una Pelton.; no necesita una carcasa hermética como la Francis y tiene una velocidad específica más elevada y puede manejar un mayor flujo para el mismo diámetro que una turbina Pelton, conllevando por tanto una reducción del coste del generador y de la instalación. Actualmente esta Turbina está en etapa de diseño.

Conclusiones

Los proyectos que enmarcaron este estudio mostraron que es posible aplicar tecnologías simples de energías renovables, hidroeléctricas, de bajo costo que permiten su construcción e instalación en comunidades aisladas. El interés es permitir el abastecimiento con energías verdes, de bajo costo y descentralizado de electricidad en pequeñas comunidades que no pueden vincularse al sistema interconectado nacional y cuya difusión pueda apoyarse tanto desde el sector privado como público.

AGRADECIMIENTOS

Todos los proyectos descriptos se realizaron con subsidios de la Secretaria de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba y la construcción de la turbina con el apoyo del Colegio Secundario Cristo Obrero de Villa Carlos Paz.

REFERENCIAS

- Espinoza Silva, J. 1991. “Desarrollo simplificado de turbina axial tipo “S” para micro aprovechamientos hidráulicos”, Proyecto de FONDECYT-90/0123, pp.1- 11 Fachbuch, Würzburg, 1986, p. 21.
- Góngora, C.; 2012. *Micro Turbinas para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Turbina Michell-Banki*. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias de la Ingeniería – Mención en Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2015. *Mitigación del Cambio Climático. Guía Resumida del Quinto Informe de Evaluación del IPCC Grupo de Trabajo III*. http://www.mapama.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/guia_resumida_gt3-mitigacion_tcm7-394616.pdf

Estudio de la retención y distribución de agua en muros verdes usando materiales alternativos como medio de crecimiento

Y.A. Rivas-Sánchez^{a1}, M.F. Moreno-Pérez^{a2}, J. Roldán-Cañas^{a3}

Universidad de Córdoba, Departamento de Agronomía, Campus de Rabanales, 14071 Córdoba, Spain.
E-mail: ^{a1}z32risay@uco.es, ^{a2}mfatima@uco.es, ^{a3}jroldan@uco.es

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Los muros verdes pasivos se clasifican generalmente en dos tipos de sistemas: Modulares y superficiales (Manso and Castro-Gomes, 2015). Los sistemas modulares son actualmente los más utilizados comercialmente debido a su fácil instalación y su facilidad para utilizar diferentes tipos de especies vegetales, pero estas requieren sustratos especiales como musgos o materiales sintéticos que poseen un mantenimiento regular (Safikhani et al., 2014). Los sistemas modulares son generalmente cajas con una capa de vegetación establecida verticalmente. La mayoría de los muros verdes modulares basados en musgo *Sphagnum* como sustrato, son relativamente costosos de instalar en comparación con otros sistemas como los superficiales. En los últimos años, se han realizado diferentes investigaciones sobre los muros verdes mostrando así algunas desventajas especialmente en los materiales utilizados en el medio de crecimiento debido a su alta carga ambiental (Ottelé et al., 2011).

Existe poca investigación sobre la diversidad de muros verdes en España. Actualmente, si existe la necesidad de establecer un muro verde por arquitectos o paisajistas estos instalan muros verdes por razones no ecológicas, tales como recursos estéticos, los créditos verdes y por el valor económico, y no como aislamiento térmico o para reducir el agua de escorrentía ya que las inundaciones están convirtiéndose en una problemática cada vez mayor debido a la impermeabilidad de las áreas urbanas (Francis and Lorimer, 2011).

Así nace la necesidad de encontrar nuevos materiales alternativos reciclados que posean cargas ambientales menores para una mayor sostenibilidad del medio ambiente, siendo pues el objetivo de este trabajo usar materiales alternativos tales como ladrillos rotos, estopa, fieltro, lana de roca y fibra de coco (Larcher et al., 2013), los cuales han mostrado en los últimos años que poseen características fisicoquímicas similares a las de los materiales convencionales como el *Sphagnum* que es, además, un material costoso (Rose et al., 2000; Holman et al., 2005).

En este estudio se analizó la naturaleza del sustrato, que es la base de todo el sistema de muro verde. Se han elaborado normas para la industria del techo verde en Alemania, sin embargo, no existen normas especiales para los muros verdes en España y muchas de las normas utilizadas en el extranjero, siguiendo los estándares del Reino Unido, no siempre son compatibles con el mercado (FLL, 2002). En este documento se consideraran dos puntos, primero si pueden utilizarse materiales alternativos como sustrato en las tecnologías de muros verdes en regiones cálidas del sur de España, y segundo si son estos sustratos reciclados son alternativas viables en términos de caracterizaciones de material y costes económicos (Molineux et al., 2009).

Por esto, se diseñó un prototipo de muros verdes para analizar la diferencia entre sustratos alternativos eco-compatibles, como la cascarilla de arroz mezclada con cascara de coco, y el musgo *Sphagnum* como medio de crecimiento en muros verdes (Vijayaraghavan and Raja, 2014) para la región de Andalucía. En este trabajo, se estudiaron las características fisicoquímicas de los dos medios de crecimiento, también se analizaron parámetros como la retención de agua en los sustratos establecidos en el muro verde y la homogeneidad en la distribución del agua dentro de los prototipos por medio de sensores electrónicos. Además, se analizó el desarrollo de las plantas en cada uno de los sustratos.

La escorrentía de los sustratos se analizó mediante sensores de flujo plásticos YF-S402, que utilizan un sistema Hall para su funcionamiento instalados en el sistema de recolección de agua, y la retención de humedad del sustrato se midió con sensores de humedad FC-28 de bajo coste los cuales miden la humedad del sustrato dependiendo de su conductividad. Dichos sensores

estaban conectados a internet lo que permitía registrar los datos con la periodicidad deseada y almacenarlos en una base de datos para su posterior análisis.

Para verificar la idoneidad de este nuevo material y para identificar la mejor combinación de planta y el sustrato, dos diferentes especies se utilizaron en este primer experimento que se ha realizado en el campus de Rabanales de la Universidad de Córdoba, como planta tapizante (*Lampranthus spectabilis*) y como planta de flor con mayor porte (*Aptenia cordifolia*). Fueron analizadas en cuatro prototipos diferentes para un total de 8 paneles de 1m² con 36 plantas en cada uno de los módulos experimentales organizándose al azar dentro de cada módulo (Emilsson, 2008). Análisis mensuales se realizaron para controlar el crecimiento de las plantas y la calidad de la cubierta verde, teniendo en cuenta el crecimiento y parámetros ornamentales.

El sustrato compuesto de cascarilla de arroz y fibra de coco mostró mayor homogeneidad en la distribución del agua de riego que el musgo Sphagnum, aunque tuvo poca retención de agua en comparación con el sustrato compuesto de musgo Sphagnum. El material vegetal tuvo un óptimo desarrollo en los dos tipos de sustratos analizados. De este modo, la cascarilla de arroz mezclada con fibra de coco puede ser un sustituto aceptable del musgo Sphagnum. Los resultados obtenidos demostraron que el medio de crecimiento de arroz mezclado con fibra de coco puede ser utilizado con éxito en la implementación como medio de cultivo en muros verdes.

REFERENCIAS

- Emilsson T, (2008), Vegetation development on extensive vegetated green roofs: influence of substrate composition, establishment method and species mix, *Ecological Engineering*, 33 (3–4) 265–277.
- Francis A, Lorimer J, (2011), Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls, *Journal of environmental management* 92 (6), 1429-1437.
- FLL, (2002), Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung. Landschaftsbau e.V, ISBN: 393448459x, pp. 99.
- Holman J, Bugbee B, Chard J, (2005). A Comparison of Coconut Coir and Sphagnum Peat as Soilless Media Components for Plant Growth, Utah State Univ, Department of Plants, Soils, and Biometeorology.
- Larcher F, Fornaris A, Devecchi M, (2013) , New Substrates for Living Walls, III INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSCAPE AND URBAN HORTICULTURE, *Acta Horticulturae*, V: 999, 277-281.
- Manso M and Castro-Gomes J, (2015), Green wall systems: A review of their characteristics, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, issue C, p. 863-871.
- Molineux C, Fentiman C, Gange a, (2009), Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the U.K, *Ecological Engineering*., 35 (10), 1507–1513.
- Ottelé M, Perini K, Fraaij LA, Haas EM, Raiteri R, (2011), Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems, *Energy and Buildings* 43 (12), 3419-3429.
- Rose R, Haase D. (2000). The use of coir as a containerized growing medium for Douglas fir seedlings. *Native Plants Journal*, 2: 107-111.
- Safikhani, Tabassom, Abdullah, Aminatuzuhariah Megat, Ossen, Dilshan Remaz and Baharvand, Mohammad, (2014), A review of energy characteristic of vertical greenery systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, issue C, p. 450-462.
- Vijayaraghavan K and Raja F, (2014), Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: plant

Evaluación de la instalación de microturbinas en redes hidráulicas a presión

Rodríguez-Pérez, A.M.^{a1}, Pulido-Calvo, I.^{a2}, Pereira-Villaseñor, M.^{b1} y Domínguez-Castro, L.^{b2}

^aÁrea de Mecánica de Fluidos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Campus La Rábida, Universidad de Huelva, 21819 Palos de la Frontera (Huelva). E-mail: ^{a1}angel31r.b@gmail.com, ^{a2}ipulido@dcaf.uhu.es.

^bGiahsa, Ctra. A-492 km 4, Aljaraque (Huelva). E-mail: ^{b1}mpereira@giahsa.com, ^{b2}ldcastro@giahsa.com

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

Este trabajo consiste en el análisis y valoración del uso de microturbinas para aprovechar la energía hidráulica disipada en sistemas de distribución de agua a presión. Se están estudiando los puntos idóneos de instalación en las redes hidráulicas a presión gestionados por Giahsa, empresa pública de gestión de la Mancomunidad de Aguas Costa de Huelva. En una primera fase, se está evaluando el sistema de distribución situado entre la balsa del Cabezo del Pasto, en la comarca del Andévalo (Huelva), y la estación de tratamiento de agua potable (ETAP), en el término municipal de Puebla de Guzmán (Huelva) (Figura 1). En fases siguientes, se planteará el estudio de los sistemas de abastecimiento correspondientes a los municipios de Cañaverale de León y Aracena (Huelva).



Figura 1 | Localización y esquema de la red hidráulica a presión entre la balsa del Cabezo del Pasto y la ETAP de Puebla de Guzmán (Comarca del Andévalo, Huelva)

En el sistema de distribución de la Figura 1 se dispone de una válvula reguladora eléctrica DN300 multichorro (Multinar) que se encarga de controlar el caudal y la presión. Normalmente puede llegar a reducir un exceso de presión y caudal, siendo este último de 100 l/s. Se están evaluando dos alternativas para la colocación de la microturbina (Samora et al. 2016) con una altura de energía disponible de hasta 60 metros. La primera de ellas sería colocarla antes de que el agua llegue a la válvula reguladora, con esto conseguiríamos aprovechar el exceso de caudal y presión que lleva la tubería. La segunda alternativa sería la colocación de la microturbina en paralelo (instalación en *by-pass*) a la válvula reductora, de esta manera, a través de una válvula motorizada se realizaría el control de la instalación (Corcoran et al. 2014; McNabola et al. 2015), haciendo que pase más o menos caudal por la turbina (Figura 2).

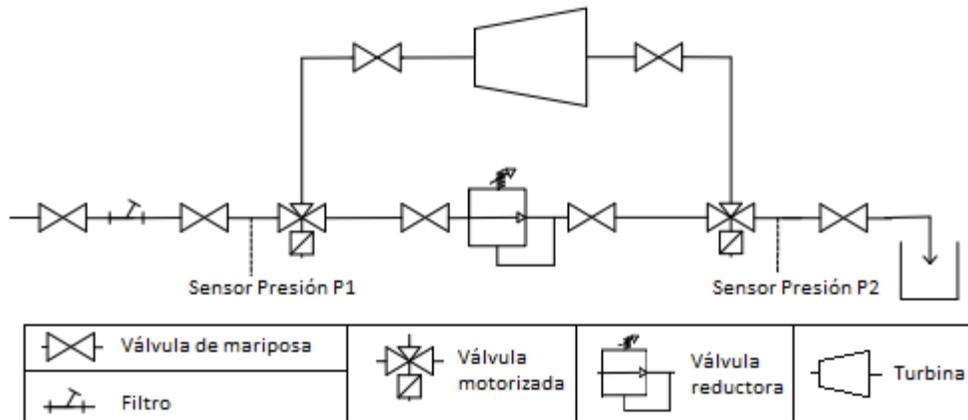


Figura 2 | Esquema de instalación en by-pass de una microturbina.

Mediante análisis de sensibilidad se mostrará la mejor alternativa de instalación de la microturbina para el sistema de distribución de agua en estudio, considerando el rango de kWh que puede llegar a aprovecharse y el periodo de amortización de la inversión a realizar.

REFERENCIAS

- Corcoran, L., McNabola, A., Coughlan, P. 2015. Optimization of water distribution networks for combined hydropower energy recovery and leakage reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management* 142(2), 1–8.
- McNabola, A., Coughlan, P., Corcoran, L., Power, C., Williams, A. P., Harris, I., Gallagher, J., Styles, D. 2014. Energy recovery in the water industry using microhydropower: an opportunity to improve sustainability. *Water Policy* 16, 168–183.
- Samora, I., Manso, P., Franca, M.J., Schleiss, A.J., Ramos, H.M. 2016. Feasibility assessment of micro-hydropower for energy recovery in the water supply network of the city of Fribourg. En: *Sustainable Hydraulics in the Era of Global Change*, Erpicum et al. (Eds.), Taylor&Francis Group, Londres, 961-965.

Modelización tridimensional hidrodinámica y de la calidad del agua en el Proyecto Hidroeléctrico de Ituango.

Rodríguez-Castillo, Tamara^a, Jiménez Tobío, Mirian^a, Bárcena Gómez, Javier-F^a, García Gómez, Andrés^a, López Mera, Fernando^b, Agudelo Restrepo, Pablo^c, Morales Villa, Juan Fernando^d, Mesa Arroyave, Jorge Emilio^d, Castano Giraldo, Jorge Ignacio^d y Medina Santamaría, Raúl^a

^a Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria - Avda. Isabel Torres, 15, Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, 39011, Santander, España, e-mail: (tamara.rodriguez@unican.es, mirian.jimenez@unican.es, javier.barcena@unican.es, andres.garcia@unican.es, raul.medina@unican.es) ^b Acuática Ingeniería Civil. C/ Areal 42, 2ºD, 36201, Vigo, España, email: (flopezmera@aquaticaingenieria.com), ^c Grupo Elemental SAS. C/1231185, Medellín, Colombia, e-mail: (grupoelementalsas@gmail.com), y ^d Empresas Públicas de Medellín (Carrera 58 #42-425, Medellín, Colombia, email: JUAN.MORALES@epm.com.co, Jorge.Mesa.Arroyave@epm.com.co, JORGE.IGNACIO.CASTANO@epm.com.co)

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

En las últimas décadas, entre las modificaciones más significativas que el hombre ha realizado en el medio ambiente está la construcción de embalses con el fin de satisfacer, principalmente, las necesidades de almacenamiento de agua, generación de energía eléctrica y regulación de los caudales de los ríos. La creación de un embalse implica el cambio brusco de un ecosistema terrestre a uno acuático y al tiempo, el cambio de un ecosistema lótico (río) a uno léntico, con movimientos de agua muy lentos y débiles (Roldán y Ramírez, 2008). Esta transformación provoca cambios en el tiempo de residencia del agua y cambios en el transporte y mezcla de las sustancias.

La modelización de un embalse lleva consigo la interacción de diferentes dinámicas atmosféricas (intercambio de flujos de calor y balances hídricos), aportes procedentes de la cuenca y las interacciones de los ciclos de la materia que se producen en el interior del embalse. A todo esto, debe unirse la operación propia del embalse. Es por ello, que cobra vital importancia una correcta caracterización de todas las interacciones anteriormente citadas para evaluar la calidad del agua en el futuro embalse y aguas abajo del mismo. Dicha evaluación permite gestionar mejor los diferentes usos que se puedan establecer en el área afectada.

En esta comunicación se presenta el trabajo realizado para el estudio del futuro proyecto hidroeléctrico Ituango (Medellín, Colombia), cuya construcción provocará la inundación permanente de grandes áreas con una elevada cobertura vegetal. La vegetación existente en el vaso del embalse en el momento de su llenado es clave en los procesos de mineralización de la materia orgánica y va a condicionar la calidad del agua en el propio embalse y en el agua turbinada aguas abajo del mismo. El primer objetivo del trabajo es determinar las actuaciones de deforestación de vegetación óptimas, aquellas que minimicen el coste económico y aseguren unas condiciones mínimas de calidad de agua, tanto en el embalse como aguas abajo del mismo.

Al tratarse de un embalse tropical, la variabilidad climática juega un papel importante a la hora de regular el régimen hídrico de la cuenca. Dado que los principales moduladores de la variabilidad climática interanual sobre el territorio colombiano son el fenómeno de El Niño y La Niña (CAF, 2000), en el presente estudio se ha evaluado el impacto que provocaría el inicio de operación del embalse bajo diferentes escenarios climáticos y su repercusión en la calidad del agua.

La modelización hidráulica y de calidad de agua se ha llevado a cabo empleando el modelo numérico Delft3D (WL/Delft Hydraulics 2011), ensamblando las interacciones hidráulicas, atmosféricas, calidad de agua y la descomposición de vegetación a inundar en el vaso del embalse.

En el presente trabajo se ha podido evaluar en el corto, medio y largo plazo los diferentes impactos del Proyecto Hidroeléctrico Ituango sobre la calidad del agua asociada al nuevo ecosistema generado, desde un punto de vista tridimensional, considerando diferentes escenarios de remoción de la vegetación y el efecto que pueda tener la variabilidad climática.

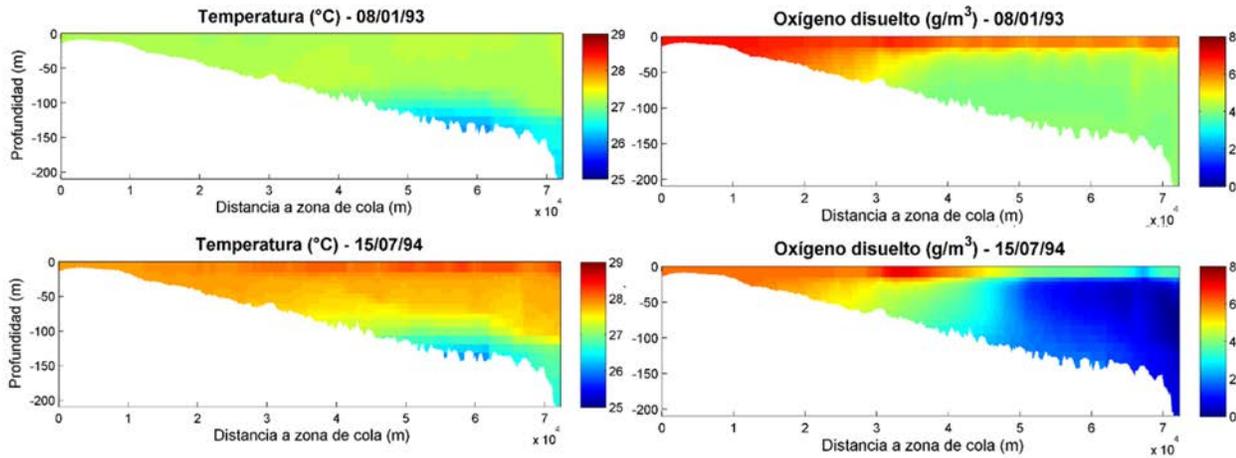


Figura 1. Distribución de temperatura y concentración de oxígeno disuelto en un perfil longitudinal a lo largo del embalse.

Los resultados obtenidos en el proyecto muestran una visión holística de las diferentes dinámicas modeladas y remarcan la importancia que tiene la consideración de los diferentes fenómenos atmosféricos (El Niño/ La Niña) en el comportamiento del sistema. El escenario climático con el que se inicia el llenado del embalse afecta al tiempo que se tarda en alcanzar un estado óptimo de calidad del agua. La velocidad de recuperación de las condiciones iniciales de la calidad viene condicionado si el inicio de operación del embalse se realiza bajo la influencia un fenómeno climático u otro. Esto muestra la relevancia de considerar estos fenómenos a la hora de proyectar el esquema temporal de llenado del embalse antes de su entrada en producción y son claves para las condiciones de calidad de agua que puedan existir en la masa de agua. Estas consideraciones, unido al análisis de la evolución espacio-temporal de diferentes sustancias físico-químicas y biológicas bajo diferentes escenarios de remoción de biomasa, permiten cuantificar la relevancia que pueda tener uno u otro escenario de deforestación en los procesos de descomposición de materia orgánica. Todo ello nos permite realizar un diagnóstico global del impacto que puede producir la operación del embalse sobre el cumplimiento de las normas de calidad ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en el marco del proyecto “Implementación de un modelo para simular la calidad de aguas del proyecto Hidroeléctrico de Ituango y aguas abajo” por el Banco Interamericano de desarrollo (BID).

REFERENCIAS

- CAF, 2000. Las lecciones de El Niño. Colombia. CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/674>
- Roldán, G. & Ramírez, J.J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. 2ª ed. Medellín, Colombia.
- WL/Delft Hydraulics 2011. Delft3D, simulation of multidimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments, User Manual. Delft, 2011.

Identificación del origen de las tormentas que provocan las avenidas en España utilizando trayectorias de tormentas y técnicas de aprendizaje automático

Santos, M.S.^{a,b,c1}; Mediero, Luis J.^{c2}; Lima, Carlos H.R. J.^{a2}

^a Posgrado en Tecnología Ambiental y Recursos Hídricos, Universidad de Brasilia (UnB), Campus Universitario Darcy Ribeiro, Anexo SG12, Térreo, 70.910-900, Brasilia, DF, Brasil. ^b Departamento de Hidrología, Servicio Geológico de Brasil (CPRM), Sede, SBN Cuadra 02, Ed. H, 70040-904, Brasilia, DF, Brasil. ^c Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica, Energía y Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, c/ Profesor Aranguren, 3. 28040. Madrid. E-mail: ^{a,b,c1}marcus.santos@cprm.gov.br, ^{a2}luis.mediero@upm.es., ^{b2}chrlima@unb.br.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua

El presente estudio tiene por objetivo identificar el origen de las tormentas que provocan las avenidas máximas anuales en España. A partir de los datos disponibles actualmente se puede evaluar si las avenidas son resultado de procesos estocásticos homogéneos, o si por el contrario, son debidas a distintos procesos de formación con cambios a lo largo del tiempo, de tal forma que la ley de frecuencia de avenidas debería ser dividida para tener en cuenta estas diferencias. Para realizar este estudio se han utilizado los datos observados en siete estaciones de aforo localizadas en distintas Demarcaciones Hidrográficas españolas. Para cada una de las tormentas asociadas a cada una de las avenidas máximas anuales en cada estación de medida, fueron generadas 64 trayectorias de partículas de aire utilizando el modelo Lagrangiano de dispersión de partículas Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model (HYSPPLIT) (Draxler et al. 1999; Draxler y Hess 1997, 1998). En este modelo, cada partícula atmosférica tiene su posición estimada utilizando datos de reanálisis (Kalnay et al., 1996). Los cambios de humedad de cada partícula son estimados para cada intervalo de tiempo por medio de la Ecuación 1 (Sodemann et al. 2008), en g de vapor de agua por kg de aire en un intervalo de tiempo de 6 horas. Se puede observar que cambios negativos son resultado de volúmenes de lluvia superiores a los de recarga por evapotranspiración y viceversa (Sodemann et al. 2008).

$$\frac{dq}{dt} \approx \frac{\Delta q}{\Delta t} = E - P \quad (g \text{ kg}^{-1} (6h)^{-1}) \quad (1)$$

Este tipo de datos ha sido utilizado en estudios recientes (Ming et al., 2007; Scarchilli et al., 2010; Vieira-Filho et al., 2013; Wai et al., 2007). Específicamente en España, Krklec y Domínguez-Villar (2014), utilizaran el modelo HYSPPLIT para identificar el origen de la humedad que llega a la región de las Cuevas del Águila, en la provincia de Ávila durante el período 2009-2011, llegando a la conclusión de que la humedad en la región tiene origen principalmente en el Océano Atlántico Norte y como consecuencia del reciclaje dentro de la propia Península Ibérica, mientras que el Mar Mediterráneo y el Atlántico Tropical tuvieron una contribución secundaria y con gran variabilidad en el periodo del estudio.

En la presente comunicación, los resultados alcanzados permiten describir cinco tipos de trayectorias más frecuentes en España (Figura 1 superior) a lo largo de todo el periodo histórico disponible de datos de reanálisis (en algunos sitios los datos están disponibles desde la década de 1950): avenidas generadas por tormentas predominantemente procedentes del sudoeste, noroeste, norte, este y reciclaje dentro de Península Ibérica. Estos resultados son consistentes con Tout y Kemp (1985) y Krklec y Domínguez-Villar (2014).

Para la clasificación de las trayectorias se utilizó un análisis de cluster con el algoritmo 'K-nearest neighbours' (KNN) sin supervisión (Hastie et al., 2001). Para cada trayectoria, su dirección principal, región de origen y ángulo de llegada al punto de interés fueron utilizados para clasificarlas en cinco tipos distintos de trayectorias. De la composición de tormentas a partir de sus 64 trayectorias, las clases presentadas en la Figura 1 fueron definidas. Para la definición de estas clases, algunos trayectos fueron utilizados para 'enseñar' a un algoritmo KNN, pero ahora con supervisión. La magnitud del error esperada en este algoritmo inicialmente es del orden del 35%. Pero iterativamente, fue reducida hasta niveles satisfactorios.

Los resultados alcanzados en esto estudio muestran que:

- El 45,2% del conjunto de las tormentas que causan avenidas máximas anuales en las estaciones analizadas en España tienen origen en el Océano Atlántico Norte a lo largo del histórico. Esto está de acuerdo con la climatología general de los

flujos de vientos en España, considerando su posición en relación a las corrientes de oeste de medias latitudes del hemisferio norte (Barry y Chorley, 2009). Los otros flujos más importantes son aquellos que proceden del Norte (24,6%), Mediterráneo (18,5%), Atlántico Tropical (8,22%) y consecuencia del Reciclaje interior (3,53%).

- A lo largo del período de estudio, el reciclaje es un flujo importante en las regiones situadas en el centro-este de España (con promedios de frecuencia alrededor de 12,3% en las regiones del Tajo y Júcar).
- La frecuencia de los flujos mediterráneos es más grande en las regiones del Ebro y Júcar, situados más al este de España. La única región en la que los flujos atlánticos (29,3 %) son menos frecuentes que los mediterráneos (36,6 %) es la región del Júcar.
- Las avenidas con influencia predominante de flujos del Norte (superiores al 25% de frecuencia) son las regiones del Ebro, Cantábrico y Miño-Sil, que se encuentran bajo la influencia de la humedad del golfo de Vizcaya y del Mar del Norte.

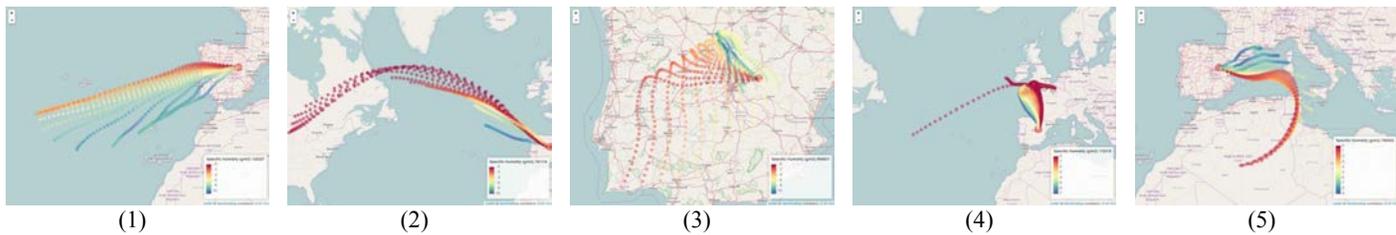


Figura 1 | Ejemplos de tipos de tormentas (1: Atlántico Tropical; 2: Atlántico Norte; 3: Reciclaje; 4: Norte; y 5: Mediterráneo).

AGRADECIMIENTOS

El trabajo ha sido realizado bajo la financiación del Servicio Geológico de Brasil (CPRM), de la Coordinación de Formación de Personal de Nivel Superior de Brasil (CAPES) y del proyecto CGL2014-52570 ‘Impacto del cambio climático sobre la ley de frecuencia bivariada de avenidas’ concedido por el Ministerio de Economía y Competitividad de España.

REFERENCIAS

- Barry, R. G. y Chorley, R. J. 2009. *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge, Oxon, UK.
- Draxler, Roland R., e G. D. Hess. 1997. “Description of the HYSPLIT4 modeling system”. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-224.
- Draxler 1998. “An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories”. Australian meteorological magazine 47 (4): 295–308.
- Draxler, Roland R., Barbara Stunder, Glenn Rolph, e Albion Taylor. 1999. “HYSPLIT4 user’s guide”. NOAA Tech. Memo ERL ARL-230.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer, CA, US.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., ..., y Joseph, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Am. Meteorol. Soc* 77, 437–471.
- Krklec, K. y Domínguez-Villar, D. 2014. Quantification of the impact of moisture source regions on the oxygen isotope composition of precipitation over Eagle Cave, central Spain. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 134, 39–54.
- Ming, J., Zhang, D., Kang, S. y Tian, W. 2007. Aerosol and Fresh Snow Chemistry in the East Rongbuk Glacier on the Northern Slope of Mt. Qomolangma (Everest). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112 (D15): D15307. doi:10.1029/2007JD008618.
- Sarchilli, C., Frezzotti, M. y Ruti, P. M. 2010. Snow Precipitation at Four Ice Core Sites in East Antarctica: Provenance, Seasonality and Blocking Factors. *Climate Dynamics*, 37, 9–10, 2107–25. doi:10.1007/s00382-010-0946-4.
- Sodemann, H., Schwiertz, C. y Wernli, H. 2008. Interannual Variability of Greenland Winter Precipitation Sources: Lagrangian Moisture Diagnostic and North Atlantic Oscillation Influence. *Journal of Geophysical Research*, 113 (D3). doi:10.1029/2007JD008503.
- Tout, D. G. y Kemp, V. 1985. The named winds of Spain. *Weather*, 40, 322–9. doi: 10.1002/j.1477-8696.1985.tb03721.x .
- Vieira-Filho, M. S., Pedrotti, J. J. y Fornaro, A. 2013. Contribution of long and mid-range transport on the sodium and potassium concentrations in rainwater samples, São Paulo megacity, Brazil. *Atmospheric Environment*, 79, 299–307.
- Wai, K. M., Wang, S. H., Tanner, P. A. y Lin, N. H. 2007. A Dual Site Study of the Rainwater Chemistry within the Western Pacific Region. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 57 (1), 85–103, doi:10.1007/s10874-007-9064-z.

Caracterización de nuevos materiales en sistemas de riego por goteo subsuperficial

Sobrino, Fernando^a, Zubelzu, Sergio^b y Rodríguez, Leonor^c

^afernando.sobrino@alumnos.upm.es, ^bsergio.zubelzu@upm.es, ^cleonor.rodriguez.sinobas@upm

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

Introducción

Una de las claves del éxito en los sistemas de riego subsuperficial es la tubería a emplear en la instalación. Al estar la tubería enterrada, y no verse el bulbo húmedo, es muy importante conseguir una buena uniformidad de distribución del agua de riego. En los últimos años las distintas empresas de fabricación de tuberías han ido mejorando la calidad de los emisores en cuanto a uniformidad de distribución, rango de autocompensación y barrera anti raíces.

En este trabajo se ha estudiado el comportamiento en laboratorio de cuatro tuberías distintas de tres fabricantes distintos. Se ha medido el caudal a cuatro presiones de trabajo distintas para verificar los intervalos de presiones donde los goteros son autocompensantes. Asimismo se ha calculado el Coeficiente de Variación de manufactura de cada una de las tuberías. Por último, se han comentado y comparado los resultados obtenidos con representación de los mismos en tablas y gráficos.

Objetivos

El principal objetivo de este trabajo ha sido caracterizar distintas tuberías empleadas en el riego por goteo subsuperficial.

Materiales y métodos

Se han caracterizado cuatro tuberías de tres fabricantes distintos. La primera tubería corresponde al fabricante una Netafim® (UniBioLine®) tubería de polietileno de diámetro 16 mm y espesor de pared 1,2 mm color violeta con goteros autocompensantes de 1 L/h. La segunda tubería del mismo fabricante y el mismo modelo con un caudal de 2,3 L/h. La tercera tubería ha sido del fabricante Rain Bird® XFS, tubería de polietileno de diámetro 16 mm y espesor de pared 1,2 mm con un gotero autocompensante de caudal 2,3 l/h. Y por último la tubería del fabricante Hunter®, modelo PLD, tubería de polietileno de diámetro 16 mm con un gotero de caudal 2,2 L/h.

Para la toma de datos se ha utilizado el banco de ensayos del laboratorio en el que se miden caudales de 24 goteros distribuidos en cuatro ramales de 6 goteros cada uno, situados a 15 centímetros de separación entre los mismos. Este banco de ensayos permite fijar una presión de trabajo común para los 24 goteros.

El ensayo consiste en arrancar el banco de ensayos y fijar la presión a 0,5 MPa y durante un tiempo determinado recoger el agua emitida por cada gotero en unas probetas graduadas. Transcurrido el tiempo fijado para cada ensayo se toman lecturas de las 24 probetas. Esta operación se repite para 1 MPa, 1,5 MPa y 2 MPa.

Asimismo, este procedimiento se repite con las cuatro tuberías. La descarga de cada gotero se recogió en probetas de 1L calibradas cada 10 mL, por lo que el error de lectura para el volumen recogido en cada probeta se estima es menos del 0,5 %.

Resultados y discusión

A continuación se presentan el resumen de resultados de caudales medios para cada una de las tuberías a distintas presiones, donde se puede apreciar que todos los valores salvo uno se aproximan a los datos proporcionados por el fabricante. Es el caso de la tubería de Hunter® ensayada a 0,05 MPa. Este resultado puede deberse aquel intervalo de autocompensación comienza justo a esta presión.

Por último se presentan los cálculos del coeficiente de variación de manufactura para cada una de las tuberías a distintas presiones. Todos los valores están dentro del rango previsto salvo el caso mencionado en el caudal medio y el motivo de este valor puede ser el mismo que en el anterior caso, que a esta presión los goteros no son autocompensantes.

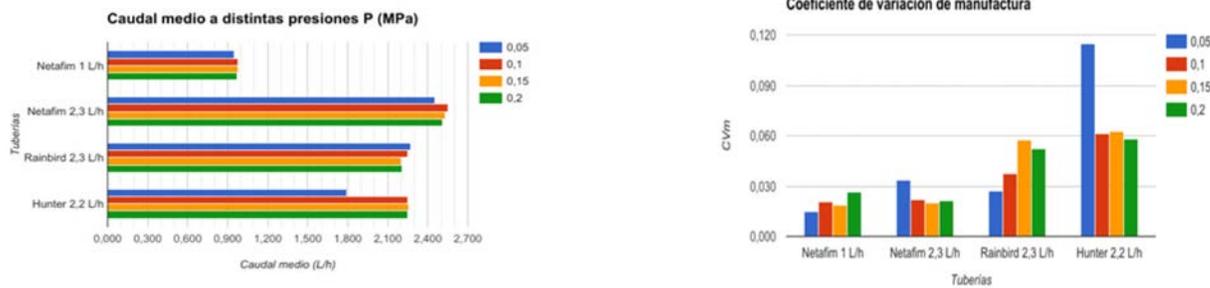


Figura 1 | Caudal medio (L/h) (izquierda) y CV manufactura (derecha).

Tabla 1 | Caudal medio (L/h).

	p (MPa)			
	0,05	0,1	0,15	0,2
Netafim 1 L/h	0,951	0,977	0,977	0,973
Netafim 2,3 L/h	2,456	2,553	2,531	2,508
Rainbird 2,3 L/h	2,269	2,248	2,203	2,207
Hunter 2,2 L/h	1,790	2,253	2,260	2,252

Tabla 2 | CV manufactura.

CVm	p (MPa)			
	0,05	0,1	0,15	0,2
Netafim 1 L/h	0,015	0,021	0,019	0,027
Netafim 2,3 L/h	0,033	0,022	0,020	0,021
Rainbird 2,3 L/h	0,027	0,037	0,057	0,052
Hunter 2,2 L/h	0,115	0,061	0,063	0,058

REFERENCIAS

Bralts, V.F., I.P. Wu y H.M. Gitlin. 1981. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. Trans. ASAE 24(1): 113-119.
 Rodriguez-Sinobas, L., M. Gil, Juana y R. Sánchez. 2010. Water distribution in Laterals and Units of Subsurface drip irrigation. I: Simulation. J.Irrig. and Drain. Eng. 135(6): 721-28.
 Solomon, P.E. 1977. Manufacturing variation of emitters in trickle irrigation systems. ASAE Paper No. 77-2009.

Relación de eventos de lluvia con indicadores ambientales: indicador A25. Caso de estudio Manizales Caldas – Colombia

Suárez, J.^{a1}, Romo, L.^{b1}, y Vélez, J.^{a2}

^aGrupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, ^bProfesora Universidad del Valle. E-mail: ^{a1}jnsuarezh@unal.edu.co, ^{a2}jjvelezu@unal.edu.co, ^{b1}lmromom@unal.edu.co

Línea temática | Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Este trabajo realiza un aporte importante al estudio de los eventos de lluvia históricos ocurridos en la ciudad de Manizales, ciudad ubicada en el centro-oeste de Colombia y con todas las características propias de ciudades de media montaña andina. Los resultados de este trabajo, además de permitir un mejor conocimiento de las características meteorológicas de la región sirven de apoyo a los sistemas de alerta temprana y a los tomadores de decisiones en el tema relacionado con la prevención y atención de desastres en la región.

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

El conocimiento adecuado del clima, como una función de espacio-tiempo, y la capacidad de predecirlo son retos que las sociedades han enfrentado a lo largo de la historia y que siguen vigentes en nuestra época (Poveda et al. 2002). Numerosos estudios han puesto de manifiesto que los costos invertidos en realizar pronósticos se justifican con los beneficios obtenidos (Lynch, 2010). Los pronósticos precisos salvan vidas, mientras que las alertas tempranas mitigan las consecuencias de fenómenos meteorológicos extremos.

Con la identificación y clasificación de eventos de lluvia, para diferentes duraciones y para el sitio de estudio y la identificación de correlaciones existente con valores de indicadores ambientales como lo es el A25 -Indicador de lluvia antecedente de 25 días- que es un indicador de lluvia acumulada que se registra en los últimos 25 días y que se mide en mm. (Terlien, 1996) se puede obtener la valoración de situaciones de alerta que puedan desencadenar eventos que afecten las comunidades en un momento determinado, como por ejemplo deslizamientos de tierra o crecidas de corrientes.

Además, este tipo de trabajos de clasificación y análisis de eventos de lluvia como lo expone Suárez et al. (2015) y Suárez et al. (2016) y su relación con indicadores de tipo ambiental, son herramientas que pueden ser utilizadas por los tomadores de decisiones administrativas permitiendo tener un mejor conocimiento de la región mediante la identificación y comprensión de los patrones de lluvia encontrados en los diferentes sectores de la ciudad, la cual presenta una alta variabilidad en su distribución espacial. Adicionalmente, con el análisis del comportamiento de las variables meteorológicas, monitoreadas a nivel de superficie, que influyen en la ocurrencia de dichos eventos se continúa con la misión de ampliar el conocimiento sobre la dinámica climática en regiones tropicales.

SITIO DE ESTUDIO

La ciudad de Manizales se encuentra localizada en el centro-oeste de Colombia, en el departamento de Caldas (Figura 1). Su ubicación espacial coincide con una de las zonas más amenazadas del país, por el elevado riesgo de ocurrencia de terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, avalanchas e inundaciones (Carreño et al. 2007; Vélez U. et al. 2012).

La región presenta un clima ecuatorial de montaña, con un régimen de lluvia bimodal, característico de la zona central andina, y un promedio anual de precipitación alrededor de los 2000 mm e influenciada por la Zona de Confluencia Intertropical -ZCIT, (Cortés, 2010). Las tasas de precipitación son muy significativas, en promedio el 70% de los días del año llueve (Pachón, 2011). Esta situación y la presencia de fenómenos macroclimáticos como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), que históricamente ha causado impactos de gran magnitud, favorecen la formación de grandes masas de nubes (Poveda, 2004). La ciudad de Manizales además se caracteriza por una topografía abrupta, por la presencia de microclimas, corrientes de agua y la influencia de las actividades antrópicas, que favorecen los deslizamientos de tierra.

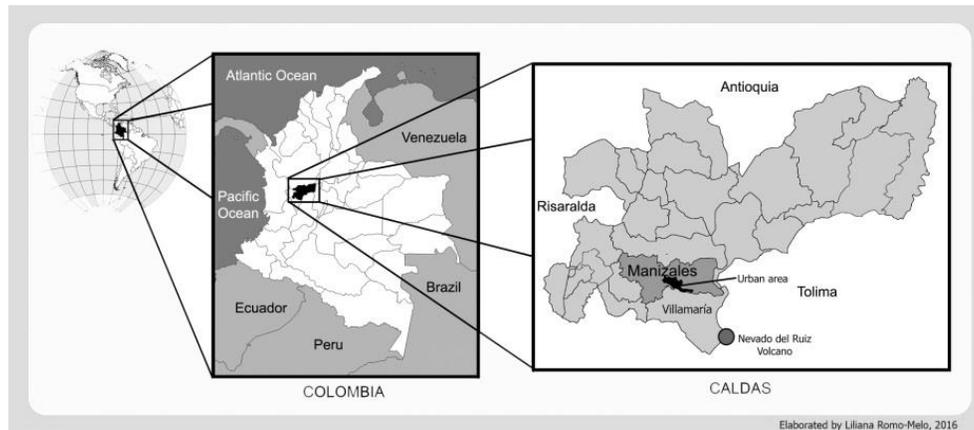


Figura 1 | Ubicación de la ciudad de Manizales, Caldas - Colombia

REFERENCIAS

- Carreño, M., Cardona, O., Barbat, A. 2007. A disaster risk management performance index. *Natural Hazards*, 41(1), pp.1–20. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11069-006-9008-y> [Accessed December 8, 2013].
- Cortés, A. 2010. Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en una ciudad de media montaña andina, caso de estudio: Manizales, Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.
- Lynch, P. 2010. Predicción del tiempo y del clima : crónica de una revolución. , 59(2), 75-78.
- Pachón, J. 2011. Distribución de la lluvia en Manizales. Instituto de Estudios Ambientales IDEEA, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, 93.
- Poveda, G. 2004. La hidroclimatología de Colombia. Una síntesis desde la década Interdecenal hasta la escala diurna. *Rev. Acad. Colomb.Ciencia* 28 (107), 201-222.
- Suárez, J., Romo, L., Vélez, J. y Chang, P. 2015. Classification and space - time analysis of precipitation events in Manizales, Caldas - Colombia. American Geophysical union - AGU. Fall meeting 2015.
- Suárez, J., Romo, L., Vélez, J. y Chang, P. 2016. Analysis of rainfall events weather forecasting purposes in Manizales, Caldas, Colombia. European Geosciences Union – General Assembly 2016.
- Terlien, M. 1996. Modelling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides. ITC. Publication number 32.

Análisis avanzado de redes de abastecimiento, saneamiento y drenaje urbano con Giswater 2

Xavier Torret^a, Vicente Medina^b

^aIngeniero de Caminos socio director de BGEO y miembro de Giswater Association, calle pinós, 1 1ªplanta, 08402 Granollers, xtorret@bgeo.es,

^bDoctor Ingeniero de Caminos, profesor asociado de la UPC y miembro de Giswater Association, UPC Campus Nord, Carrer Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona, Edificio D1, segunda Planta, vicente.medina@gits.ws

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Una de las mejoras más importantes en el contexto de los 'Hydroinformatics' ha sido la aparición de los sistemas de información geográfica. La disponibilidad de datos geoespaciales ha generado bastantes sinergias entre los modelos hidráulicos y sistemas geográficos. A partir de los trabajos seminales desarrollados en hidrología (Tarboton 1991, 1997, Rodríguez- Iturbe 1979, 2001) y los últimos avances en 1D, 2D y modelos hidráulicos 3D la evolución es clara. Adicional la contribución de la teledetección a la información que suministran es excepcional.

Giswater va más allá del paradigma estándar de la hidro -herramienta con integración con GIS, y propone el uso de una base de datos como un punto de encuentro entre los modelos, datos y resultados. El GIS funciona como una base de datos de cliente dedicado a la manipulación de creación de datos y análisis de los resultados del modelo. Con este fin, nació ya en el año 2014, un proyecto de software libre que actualmente tiene el objetivo de integrar los programas de software libre en el mundo de la hidráulica urbana, como son EPANET, SWMM a través de una base de datos PostgreSQL con su extensión espacial de PostGIS. Elementos como las tuberías del inventario de las redes de abastecimiento o de saneamiento, así como las secciones del terreno basadas en modelos digitales de elevaciones, se almacenan de forma natural en tablas de la base de datos.

Los modelos interactúan con la base de datos de recepción de datos y proporcionar los resultados. El software GIS actúa como interfaz de preprocesador / postprocesador, mientras que todas las operaciones lógicas se pueden realizar en la propia base de datos.

La versión 2 de la herramienta amplía las capacidades de la geodatabase diseñada permitiendo la conexión con Sistemas de Control y de adquisición de datos (SCADA), servicios de publicación de mapas (WMS), Sistemas de Gestión de Relación con el Cliente (CRM) así como la integración con dispositivos móviles y web o la importación de bases de precios de referencia (ITEC) para poder hacer gestión económica, tanto para planificación como para gestión patrimonial.

La posibilidad de tener integrados en una misma fuente de información los modelos hidráulicos, datos en tiempo real, precios de base de precios oficiales o datos de campo tomados con dispositivos móviles permite un análisis avanzado de redes de infraestructura de hidráulica urbana desconocido hasta la fecha. El artículo desarrolla un caso donde se ha utilizado este tipo de análisis para planificar las acciones a realizar en la red para los próximos años

Cada una de las diferentes fuentes de información se conecta a la base de datos PostgreSQL que actúa como núcleo del sistema, tal y como se muestra en la figura siguiente.

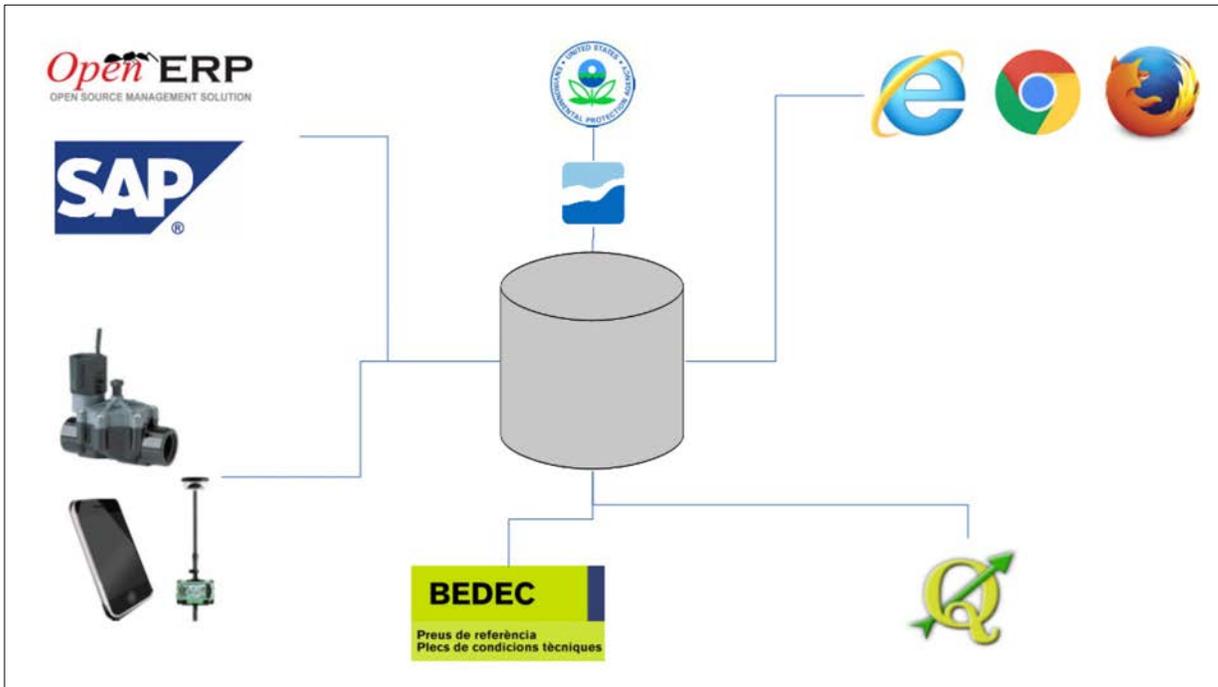


Figura 1| Imagen de la arquitectura de sistema de Giswater.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto es una realidad gracias al esfuerzo de la gente de BGEO y de la Universidad así como de multitud de personas que se han interesado por el proyecto en su versión 1.0 y que muchas de ellas han hecho posible esta nueva versión 2

REFERENCIAS

Sergi Muñoz Hoya, 2017 Análisis avanzado de infraestructuras hidráulicas y su aplicación en el estudio integral de la red de saneamiento de la ciudad de Sabadell. 1st Giswater Conference, Mataró 3 de Mayo de 2017

Vicente de Medina et al, 2014 PostgreSQL y PostGIS 2.0 aplicados al mundo de la ingeniería hidráulica y fluvial. VIII jornadas de SIG libre. Girona, 26 de Marzo de 2014

Xavier Torret Requena y Carlos López Quintanilla (ed. 2011), "Diseño y explotación de redes de saneamiento y drenaje urbano en combinación con EPA-SWMM. Un caso práctico en la corona metropolitana de Barcelona". Granollers, España.

Estudio de la dinámica del transporte de salmueras en tuberías a presión

Arnau Triadú^{ab}, Martí Sànchez-Juny^{a1}

^aGrupo FLUMEN, ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, c/ Jordi Girona 1-3, edificio D1. ^bAigües de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestió del Cicle Integral de l'Aigua, S.A. (grupo SUEZ), c/ General Batet, 1-7. E-mail: ^{ab}arnau.triadu@upc.edu ^{a1}marti.sanchez@upc.edu.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Motivación

Los yacimientos de sal de la comarca del Bages (Cataluña) se empezaron a explotar en el año 1918 para extraer potasio, un elemento imprescindible para la industria química. Dado que el potasio constituye sólo una pequeña porción de la sal extraída y que el resto (cloruro de sodio en su mayor parte) no tiene salida comercial, los residuos de la actividad minera han sido siempre muy elevados. Estos se han ido acumulando durante años para formar una montaña de 500 metros de altitud que incluso ha sido incorporada en la toponimia de la zona con el nombre de *El Cogulló*. Ya en el año 1937 *La Vanguardia* anunciaba la construcción de un colector de salmueras para solucionar “la continuada y progresiva contaminación y adulteración de las aguas del Llobregat y Cardener por los residuos salinos”. El colector prometido en 1937 fue finalmente construido en 1983, por lo que lleva casi 35 años operativo. Su función sigue siendo evacuar los residuos salinos desde las minas hasta el mar, y ha permitido reducir en gran medida la salinización del río Llobregat, que abastece de agua potable a media ciudad de Barcelona.



Figura 1 | Esquema del colector de salmueras de la cuenca minera del Bages (Cataluña). Fuente: ICL Iberia

La empresa concesionaria del denominado *Col·lector de Salmorres*, Aigües de Barcelona (grupo Suez), ha acumulado mucha experiencia en el mantenimiento y la gestión del mismo, aunque en muchos casos por el método del ensayo-error por la falta de estudios relativos al transporte de salmueras. Fue por ello que apostaron por ofertar, junto con la UPC, un Doctorado Industrial dedicado exclusivamente al tema. En esta comunicación se expone brevemente el estado de este proyecto.

El estudio se divide en tres partes: en la primera se llevan a cabo ensayos con salmueras en un circuito cerrado, la segunda consiste en la monitorización de un tramo del colector de salmueras y en la tercera se utilizan los datos obtenidos para determinar el modelo de resistencia al flujo de la salmuera en un conducto a presión, mediante una modelación numérica sencilla.

Trabajo experimental en laboratorio.

Los ensayos con salmueras se llevan a cabo en el laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos de la Escuela de Caminos de Barcelona, en el circuito cerrado de la Figura 2. Estos consisten en la circulación durante un tiempo determinado de distintas mezclas de agua con sal de la mina de Súrria, que difieren por su concentración de sólidos (solubles e insolubles), para valores distintos de caudal y temperatura. Durante el ensayo se toman datos de caudal, presión y temperatura, y las tuberías transparentes permiten observar el comportamiento del flujo de forma cualitativa. Hasta el momento se han ensayado 5 muestras distintas de salmuera.



Figura 2 | Circuito experimental utilizado para los ensayos de laboratorio.

Monitorización en campo del colector de salmueras.

La instalación de varios sensores de presión y temperatura en un tramo piloto del colector de salmueras debe permitir monitorizar el comportamiento hidrodinámico del mismo. La toma de datos empezó en febrero de 2017.

Análisis numérico de la hidrodinámica del flujo.

Los datos obtenidos en los trabajos de laboratorio y de campo deben servir para estudiar y calibrar el modelo de resistencia al flujo de las salmueras monitorizadas. El objetivo es analizar aspectos de la hidrodinámica del flujo, como por ejemplo si los modelos de análisis de pérdidas de carga utilizados tradicionalmente son válidos para el caso de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Al apoyo económico de AGAUR, mediante el Programa de Doctorats Industrials de la Generalitat de Catalunya, Aigües de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestió del Cicle Integral de l'Aigua, S.A. (grupo Suez) e Institut Flumen (CIMNE, UPC).

REFERENCIAS

ICL Iberia. Sostenibilitat i Minería. Retrieved March 24, 2017, from <https://sostenibilitatimineria.wordpress.com/>
La depuración de las aguas del Llobregat y el Cardoner (1937, June 27). La Vanguardia, p. 3.

Sistema de Ayuda a la Decisión para el diseño de planes de gestión de presiones y la estimación de fugas en redes de distribución de agua urbana

D.J.Vicente^a, R.Sánchez^b, L.Garrote^c y F.Salazar^a

^a(Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Madrid, 41, 9º Izq., Madrid, djvicente@cimne.upc.edu; fsalazar@cimne.upc.edu)

^b(Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. de Ingeniería Agroforestal, Av/ Complutense, s/n, 28040 Madrid, España, raul.sanchez@upm.es).

^c(Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. de Ingeniería Civil: Hidráulica, Energía y Medio Ambiente, C/Profesor Aranguren s/n, 28040 Madrid, España, l.garrote@upm.es).

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

La gestión de presiones en sistemas de distribución de agua se ha convertido en una de las actividades más habituales llevadas a cabo por los operadores de este tipo de redes. Esto se debe a los múltiples beneficios que proporciona, entre los que destacan la *mejora del servicio a usuarios* y la *reducción de pérdidas en fugas de fondo y roturas*. La utilización de elementos disipadores de energía como las Válvulas Reductores de Presión (VRPs) para ejercer esta labor de regulación, es una de las estrategias más extendidas en redes con exceso de presión. Aunque estos dispositivos vienen utilizándose desde hace más de un siglo (Mateo 2006), en los últimos años han cobrado especial relevancia debido a las nuevas técnicas de control que han emergido asociadas a este tipo de válvulas.

De forma global, los controladores se pueden clasificar en dos tipos: hidro-mecánicos (pilotos automáticos que se valen de la propia presión de la red para ejercer la acción reguladora) o electrónicos, cuyo control es inducido por dispositivos tipo CLPs (Controladores Lógicos Programables) (Vicente et al. 2015). La gran ventaja que supone este amplio abanico de técnicas, presenta a su vez el inconveniente de requerir un mayor análisis a la hora de seleccionar para cada caso la técnica de control más adecuada y definir el valor o curva de consigna óptima.

Por otro lado, para valorar el impacto que tiene la regulación de presiones, existe un gran número de métodos, especialmente en relación a la disminución de fugas. Un enfoque, es a través de modelos numéricos de análisis hidráulico. Otro enfoque, ampliamente utilizado en la práctica profesional, es la utilización de expresiones simplificadas que permiten al operador de la red tener una estimación rápida pero eficaz del caudal de agua perdido. En esta línea, destacan los métodos basados en el concepto de Caudal Mínimo Nocturno (CMN) (UKWI 1994) habiéndose detectado un gran número de variantes y sub-métodos. Esta heterogeneidad ha llevado a una falta de estandarización en la formulación que, en ocasiones, introduce un nivel de incertidumbre elevado en las estimaciones.

Con el doble objetivo de (1) asistir en la selección y diseño de técnicas de control y (2) mejorar la precisión en el cálculo del impacto de estas maniobras, se presenta una herramienta adaptativa y multi-criterio. Ésta ha sido desarrollada en Matlab, vinculándola con librerías de programación de EPANET 'Programmer's Toolkit'. Se ha estructurada de forma modular destacando las siguientes funcionalidades (Figura 1):

- (i) *Importación de datos: aplicabilidad a modelos numéricos y datos reales*. Un primer módulo de la herramienta se ha concebido para incorporar de forma automática datos de diferente naturaleza (tanto modelos numéricos como datos reales provenientes de sistemas de auscultación) y adaptar los algoritmos de cálculo en función de los datos disponibles.
- (ii) *Diseño de consignas de regulación*. En el caso de modelos numéricos, la aplicación asiste en la evaluación de diferentes alternativas de control. Para ello, primero define una curva de consigna óptima y a continuación se evalúa la precisión alcanzada con cada técnica de control seleccionada por el usuario, considerando las siguientes opciones: (1) salida fija (valor de presión constante), (2) programación temporal, (3) modulación en función del caudal y (4) modulación en función de la presión en punto remoto (generalmente punto crítico). En este paso, se tienen en cuenta características de la zona de regulación, como la orografía, el número de entradas y el patrón de consumo.

- (iii) *Simulación hidráulica mediante modelación numérica*. Para el análisis de modelos numéricos se ha utilizado una formulación de tipo ‘dirigidos por la presión – *pressure-driven analysis*’ (Giustolisi et al. 2008) la cual refleja resultados más realistas que la formulación clásica, ante escenarios de escasez de presión. Como condiciones de contorno del modelo numérico, se ha incorporado en la formulación las ecuaciones para representar las técnicas de control del punto anterior.
- (iv) *Evaluación del impacto de las maniobra de regulación*. Por último, se ha desarrollado un módulo para calcular la reducción de fugas y la afección a usuarios que resultarían con la introducción de las maniobras de regulación. En el caso de analizar series de datos reales, se ha desarrollado un algoritmo basado en conceptos de CMN que se adapta al tipo de datos disponible. Este algoritmo consta de cuatro pasos fundamentales: (1) ajuste de series de caudal basado en la descomposición de series temporales, (2) desagregación de consumos y fugas aparentes, (3) cálculo de la ‘presión media’ y (4) definición de valores para el exponente que relaciona ‘presión – caudal fugado’. Cada uno de estos pasos presenta varios criterios y sub-métodos de cálculo (algunos de ellos originales y otros basados en la literatura especializada).

Con el fin de mostrar la validez de la herramienta, se presentarán ejemplos de aplicación de los diferentes módulos sobre varios casos de estudio, tanto modelos numéricos utilizados como *benchmark* en la literatura especializada (Berardi y Giustolisi 2016), como datos reales extraídos de sectores de una red española.

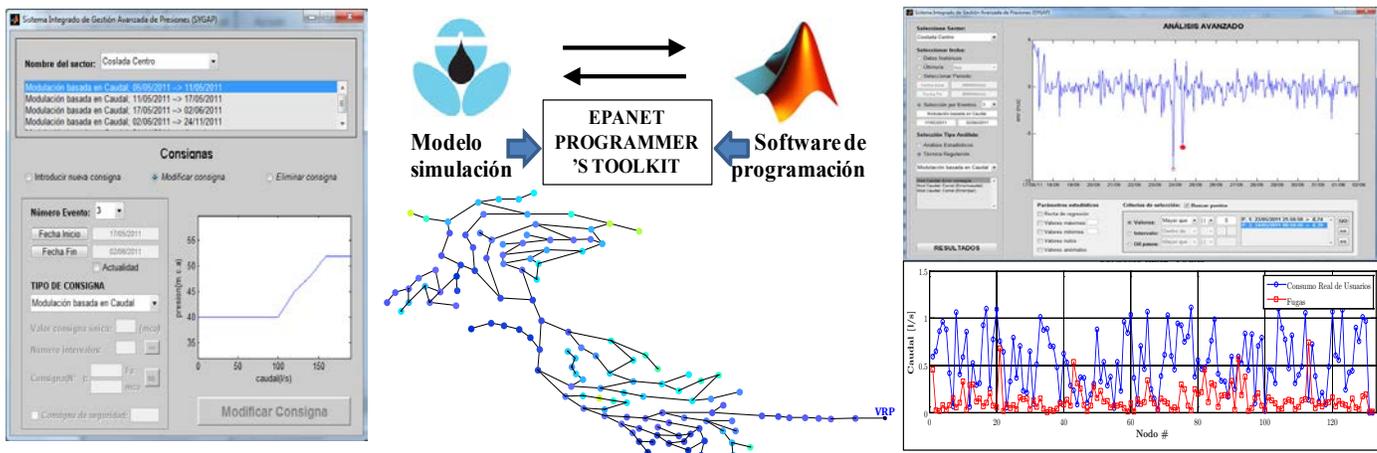


Figura 1 | Ejemplo de varios módulos de la aplicación desarrollada: diseño de consignas (izquierda), simulación hidráulica (centro) y evaluación del impacto (derecha).

REFERENCIAS

- Berardi, L., y Giustolisi, O. (2016). Special issue on the battle of background leakage assessment for water networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(5), 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000667.
- Giustolisi, O., Savic, D., y Kapelan, Z. (2008). Pressure-driven demand and leakage simulation for water distribution networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(5), 626-635.
- Mateos, M. (2006). *Válvulas reductoras de presión: clasificación, descripción, errores y soluciones*. 2ª Edición, Ed. Bellisco, Madrid, España.
- UKWI – United Kingdom Water Industry editor (1994). *Managing leakage – Report E: Interpreting measured night flows*. UK Water Industry, Engineering and Operations Committee. ISBN: 1 898920 10 9.
- Vicente, D. J., Garrote, L., Sánchez, R., y Santillán, D. (2015). Pressure Management in Water Distribution Systems: Current Status, Proposals, and Future Trends. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(2), 04015061.

Línea temática C

Agua y ciudad

Modelización hidráulica 2D para la determinación de cargas de lluvia en cubiertas singulares

José Ismael Ait-Chaib^a, Alejandro Quilez^b y Jose M Moure^c (AECOM)

^aDpto. Hidráulica en AECOM Spain, Joselsmael.Ait-ChaibCorchero@aecom.com, ^b Dpto. Hidráulica en AECOM Spain, Alejandro.QuilezPlanelles@aecom.com y ^c Dpto. Hidráulica en AECOM Spain, josemaria.moure@aecom.com.

Línea temática | Agua y ciudad

RESUMEN

Las cubiertas singulares compuestas por superficies de curvatura variable empiezan a formar parte habitual de nuestro entorno, estableciendo habitualmente una marcada separación en su resolución frente a los cerramientos verticales. La función de estas estructuras de cierre superior es principalmente la protección ante los agentes climáticos, factor a considerar en la determinación del material. Estas cubiertas singulares, en ocasiones ligeras, pueden establecer limitaciones al tránsito.

Existen diferentes normativas internacionales aplicables a cubiertas, que profundizan en la definición de cargas a considerar debidas a los agentes climáticos. La geometría de las cubiertas singulares requiere el establecimiento de sistemas de drenaje adecuados y compatibles con el diseño, establecimiento medidas preventivas para evitar acumulaciones de agua en la cubierta por fallos en el sistema de evacuación diseñado. Esta acumulación de agua puede identificarse de forma ágil y precisa utilizando modelos hidráulicos bidimensionales, trasladando el resultado como input para determinar el impacto sobre la estructura, de cara a la consideración en el diseño e incluso a la optimización de la geometría de la cubierta.

El objeto de este artículo es el análisis del impacto de la lluvia sobre las dos cubiertas singulares del estadio de ámbito regional representado en los modelos de las imágenes inferiores. El diseño de las cubiertas se ha realizado por medio de software de modelado 3D (Autodesk Revit).



Figura 1 | Modelado 3D de cubiertas singulares.

Mediante el uso herramientas SIG, las superficies de las cubiertas diseñadas se convierten a formato TIN (Triangulated Irregular Network) y ASCII para ser utilizados como inputs de entrada en la modelización hidráulica. Estos presentan unas resoluciones de celda que han buscado el equilibrio entre precisión de resultados suficiente y tiempos de computación coherentes.

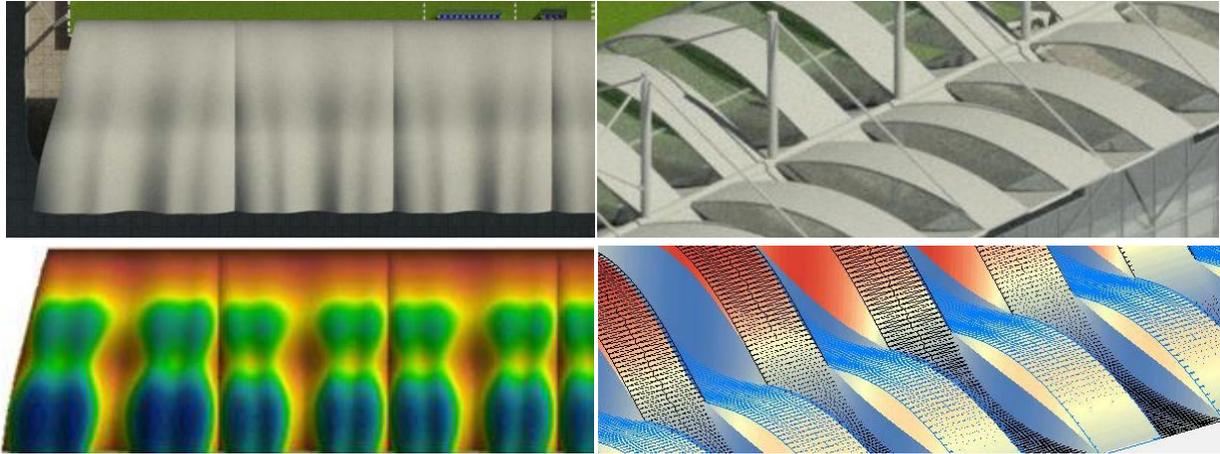


Figura 2 | Modelado 3D y tratamiento SIG de las cubiertas.

Para realizar la simulación hidráulica 2D se ha utilizado el software Iber y Mike 21, contrastando los resultados obtenidos. Los datos de precipitación introducidos en los modelos son los hietogramas aplicados a las superficies de estudio. Los elementos de drenaje de las cubiertas han sido reproducidos como condiciones internas del modelo. Además se han tenido en cuenta los efectos de la rugosidad de los materiales de las cubiertas.

Se han llevado a cabo las modelizaciones en diferentes escenarios e hipótesis de funcionamiento. Estas simulaciones han sido sometidas a test de sensibilidad para comprobar la influencia de diferentes parámetros. Por otro lado se ha aplicado un proceso de comprobación de la calidad con el fin de determinar los niveles de incertidumbre y estabilidad de los modelos. Se presenta a continuación unos ejemplos de los resultados obtenidos, concretamente representando los calados espacialmente distribuidos. De esta manera, en cada uno de los puntos que definen las superficies modelizadas se han podido obtener los calados provocados por la acumulación de lluvia. Estos calados han sido posteriormente transformados en valores de carga de lluvia para ser considerados en los estudios estructurales y optimización de la geometría de las cubiertas.

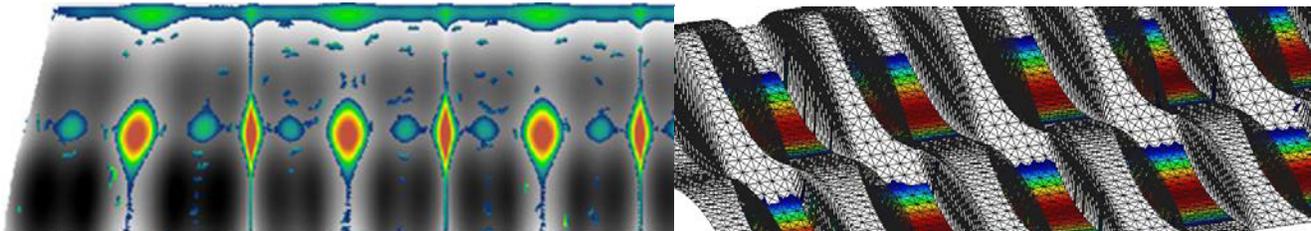


Figura 3 | Cargas de lluvia aplicadas sobre las superficies estudiadas.

Con este trabajo se manifiesta la versatilidad del uso de software hidráulico bidimensional en aplicaciones diferentes a las tradicionales, como es el caso de la determinación de cargas sobre elementos estructurales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento por el apoyo recibido por parte de la empresa AECOM Spain en la elaboración de este trabajo.

Problemática de los ríos urbanos. Análisis del caso particular del río Monelos- Mesoiro y del río de La Grela o río Pastoriza

Alcoba, M.^{a1}, Calvo, E.^{a2}

^{a1}Egis Eysler S.A., Delegación de Galicia, Carretera Cambre-O Temple nº 3, 2ºD, Cambre (A Coruña). E-mail: ^{a1}m.alcoba@egis-eyser.com, ^{a2}e.calvo@egis-eyser.com.

Línea temática | Agua y ciudad

RESUMEN

Introducción

El proceso de ordenación y urbanización de las ciudades en el pasado no siempre ha considerado como condicionante la presencia de los ríos urbanos, sobre todo cuando se trata de cauces asociados a pequeñas cuencas. En el caso de la ciudad de A Coruña, el importante proceso urbanizador llevado a cabo durante la segunda mitad del siglo XX, unido al escaso caudal de los cauces, a la desaparición de los usos tradicionales del agua en los mismos, y a la falta de regulación sectorial en materia de depuración de las aguas en el pasado, ha provocado que hoy en día, gran parte del trazado de estos ríos urbanos se encuentre canalizado y, en parte, mezclado con la red de aguas residuales de la ciudad.

Hoy en día, desde la actual perspectiva de sensibilización en materia ambiental y de aguas que se ha ido creando, fomentada por las nuevas directivas, no parece admisible que los ríos urbanos discurren canalizados bajo la ciudad, y menos aún que se mezclen con la red de saneamiento urbana. Sin embargo, es preciso analizar en detalle hasta qué punto es posible revertir la situación y en qué medida y en qué condiciones se pueden recuperar estos cauces urbanos.

Principales ríos urbanos en A Coruña. Pasado y presente

Las cuencas de los ríos Mesoiro-Monelos y arroyo de La Grela o Pastoriza abarcan casi toda la superficie municipal de A Coruña. Gran parte de su longitud se encuentra canalizada, sobre todo en el caso del arroyo de La Grela.

El río Monelos, en origen, era fruto de la confluencia del río Mesoiro con otros afluentes de menor entidad, entre ellos, el arroyo de La Grela o río de Pastoriza.

En la actualidad, el río Monelos- Mesoiro vierte al mar en el Puerto de A Coruña, pero interactúa con el túnel de Bens en la cámara de disipación de Elviña.

Por su parte, el arroyo de La Grela vierte en la actualidad al túnel de Bens a través del ovoide unitario de la Grela, en lugar de hacerlo al río Monelos, como hacía en el pasado.

A través del análisis de la consideración y transformación de estos dos ríos a lo largo del último siglo, en particular de la segunda mitad del mismo, podemos comprender el estado actual que presentan en la actualidad, con gran parte de su trazado canalizado y en parte conectados a la red de saneamiento de la ciudad.

La gran transformación del río Monelos- Mesoiro se produjo a partir de los años 50, a raíz de la construcción de la Avenida Lavedra, inaugurada en el año 1957, y los Polígonos de Elviña y Barrio de las Flores, en la década de los 60-70. En la actualidad el río Monelos- Mesoiro se encuentra canalizado en una longitud superior a los 4.100m, desde la zona del Martinete (cerca de la entrada al Polígono Industrial de Pocomaco) hasta su desembocadura en el Puerto de A Coruña (Muelle de San Diego).

Por su parte, las transformaciones del arroyo de La Grela o de Pastoriza se concentran en los últimos 60 años, vinculadas fundamentalmente a la instalación de dos grandes factorías en A Coruña en la década de los 60, Aluminio de Galicia S.A. y Grafitos Eléctricos del Noroeste S.A. (Alcoa y SGL Carbón), para cuyo abastecimiento fue necesaria la construcción de una

presa en el propio río de Pastoriza (la Presa de Meicende), a la construcción de la 2ª fase del polígono de Elviña y la Avda. Salgado Torres, y más recientemente, al desarrollo del área comercial IKEA- Marineda. En total, la longitud canalizada del arroyo de La Grela ronda los 3km, discurriendo a cielo abierto menos de 300m. En la Plaza de Manuel Guitián, el río de La Grela comunica mediante un resalto con el ovoide unitario de La Grela, que conduce sus aguas hacia el túnel de Bens.

Planteamiento futuro. Conexión del arroyo de La Grela o Pastoriza al río Monelos- Mesoiro

Una vez analizado el pasado y el presente de los principales ríos urbanos de la ciudad de A Coruña, se ha considerado la posibilidad de volver a conectar el arroyo de La Grela con el río Monelos.

Este restablecimiento de la conexión entre ambos ríos se hace imprescindible tras la puesta en marcha de la nueva EDAR de Bens, puesto que la idea de tratar las aguas del arroyo de La Grela en la depuradora resulta inaceptable.

Por ello, desde el Ayuntamiento de A Coruña se contrató la ejecución de un estudio de alternativas para la conexión de ambos ríos y, posteriormente, la redacción del proyecto constructivo de la alternativa viable de conexión.

El principal problema para la conexión es de cota, puesto que la confluencia de ambos ríos coincide con el punto bajo de la Avenida Alfonso Molina en Ponte da Pedra, cerca de donde ya se cruzó el río Mesoiro en el año 2007.

Es preciso, para realizar la conexión, cruzar de nuevo el arroyo de La Grela bajo la Avenida, con recubrimientos bastante escasos. También resulta necesario el retranqueo de la tubería general de abastecimiento de agua a la ciudad en el tramo, que por otra parte ya requiere ser sustituida, puesto que se trata de una tubería muy antigua de hormigón con camisa de chapa de 900mm de diámetro, que está funcionando al límite de la presión para la que fue diseñada.

El tramo de conexión, de unos 350m de longitud, se plantea con una pendiente del 0,42%, que es lo máximo que se ha podido conseguir debido a los condicionantes de cota aguas arriba y aguas abajo. La conexión aguas arriba se realiza a un tubo de hormigón armado de 2000mm de diámetro por el que discurre el río, que instaló Acciona durante los trabajos del enlace de Lonzas en 2011. Tras el cruce bajo Alfonso Molina, la conexión del arroyo de La Grela con el río Monelos se realiza aguas arriba de la cámara de disipación de Elviña, en la que el río puede aliviar al túnel de Bens antes de provocar inundaciones en las proximidades de su desembocadura en el puerto.

Se ha proyectado un tramo de esta conexión a cielo abierto, por los jardines de Alfonso Molina, pero las condiciones en la que se puede ejecutar este tramo son “semi- naturales”. Por una parte, no se ha considerado posible la formación de un lecho de río granular, debido a que se podrían producir arrastres hacia la canalización bajo Alfonso Molina y, por otra parte, se considera necesaria la impermeabilización del lecho, puesto que en las inmediaciones de la conexión existen terrenos que están a cotas inferiores, y podrían producirse filtraciones hacia los mismos. Esto limita la ejecución de plantaciones en las márgenes del tramo a cielo abierto.

Conclusión

La restitución al estado original de los ríos es complicada, sobre todo en los tramos que están fuertemente urbanizados. En el caso de que se desee llevar a cabo una restitución de los cauces a su estado primitivo, ésta debería ser promovida desde los instrumentos de planificación del territorio, desde una perspectiva global y a largo plazo. Las actuaciones puntuales, como la que se plantea, resuelven problemas concretos, que no dejan de ser importantes, pero tampoco devuelven a los ríos su espacio y su riqueza.

Sistema para medición de manómetros analógicos mediante visión artificial

Alvarellos, A^a, Picón, D.^b, Puertas, J.^c, Rabuñal, J.^d

^{a,b}Departamento de Computación, Facultad de Informática, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. ^cGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. ^dCentro de Innovación Tecnológica en Edificación e Enxeñaría Civil (CITEEC), Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n.
E-mail: ^aalberto.alvarellos@udc.es, ^bpicongarabal@gmail.com, ^cjeronimo.puertas@udc.es, ^djuanra@udc.es

Línea temática | Agua y ciudad

RESUMEN

En la era tecnológica en la que nos encontramos es cada vez más importante diseñar sistemas informáticos autónomos y que faciliten la vida y el trabajo de los usuarios.

En las plantas depuradoras, centrales hidroeléctricas, redes de abastecimiento de agua potable, etc., se utilizan manómetros como sistemas de control de presiones. Estos manómetros suelen ser analógicos y no existe la posibilidad de llevar un registro de las medidas sin interacción humana.

En el mercado podemos encontrar soluciones inteligentes que permiten solventar los inconvenientes de un manómetro analógico. Estas soluciones suelen conllevar un alto coste añadido en cuyo caso no interesará realizar este tipo de inversión.

En este trabajo presentamos la implementación de una aplicación informática que usa visión artificial para detectar los valores del manómetro (Forsyth y Ponce 2012), (Baggio 2015). Así disponemos de un sistema de bajo coste, no intrusivo, que permite realizar la lectura de sistemas manométricos de forma remota y automática sin necesidad de interacción humana para la lectura de datos.

Bajo coste

La aplicación desarrollada permite efectuar la lectura de las presiones registradas por un manómetro sin necesidad de sustituirlo por otro más moderno. Para la lectura se utilizan elementos económicos y simples: una Raspberry Pi (Raspberry Pi Foundation, 2017) y una Webcam (de bajo coste) situada frente al manómetro.

En la mayoría de las situaciones la modernización de los sistemas no está asociada a un mal funcionamiento de los mismos, por lo que con esta aplicación se permite seguir usando el manómetro durante el resto de su vida útil.

No intrusivo

La Webcam se sitúa a una distancia del manómetro tal que permita visualizarlo adecuadamente. No es necesario realizar ninguna manipulación de éste, por lo que la herramienta permite seguir utilizando el manómetro de la misma manera que se estaba usando. Esto permite, por si fuese necesario, realizar registros manuales cuando la aplicación sufra una caída debido a problemas de suministro eléctrico o fallos de las redes de comunicación.

Autónomo y remoto

La aplicación incluye la posibilidad de realizar la gestión remota de los datos obtenidos, y por lo tanto no existirá la necesidad de desplazarse físicamente a la ubicación del manómetro. Al usuario se le permite configurar una serie de parámetros de la captura e identificación de manómetro, así como de las unidades de medida; una vez configurada, la aplicación funciona de forma autónoma.

En la interfaz de la aplicación se muestran las imágenes capturadas, las procesadas, donde se ven los bordes detectados (Canny 1986) y los círculos y líneas que conforman el manómetro (Duda y Hart 1972), y también puede observarse la lectura realizada del valor del manómetro (sobreimpreso sobre la imagen). Así mismo, el histórico de las lecturas efectuadas desde el arranque de la aplicación se almacenan en un fichero que permite su análisis.

En la Figura 1 puede verse la interfaz de la aplicación, donde se observa la detección del manómetro y su aguja, así como los diversos parámetros configurables y el valor de la lectura actual del manómetro.

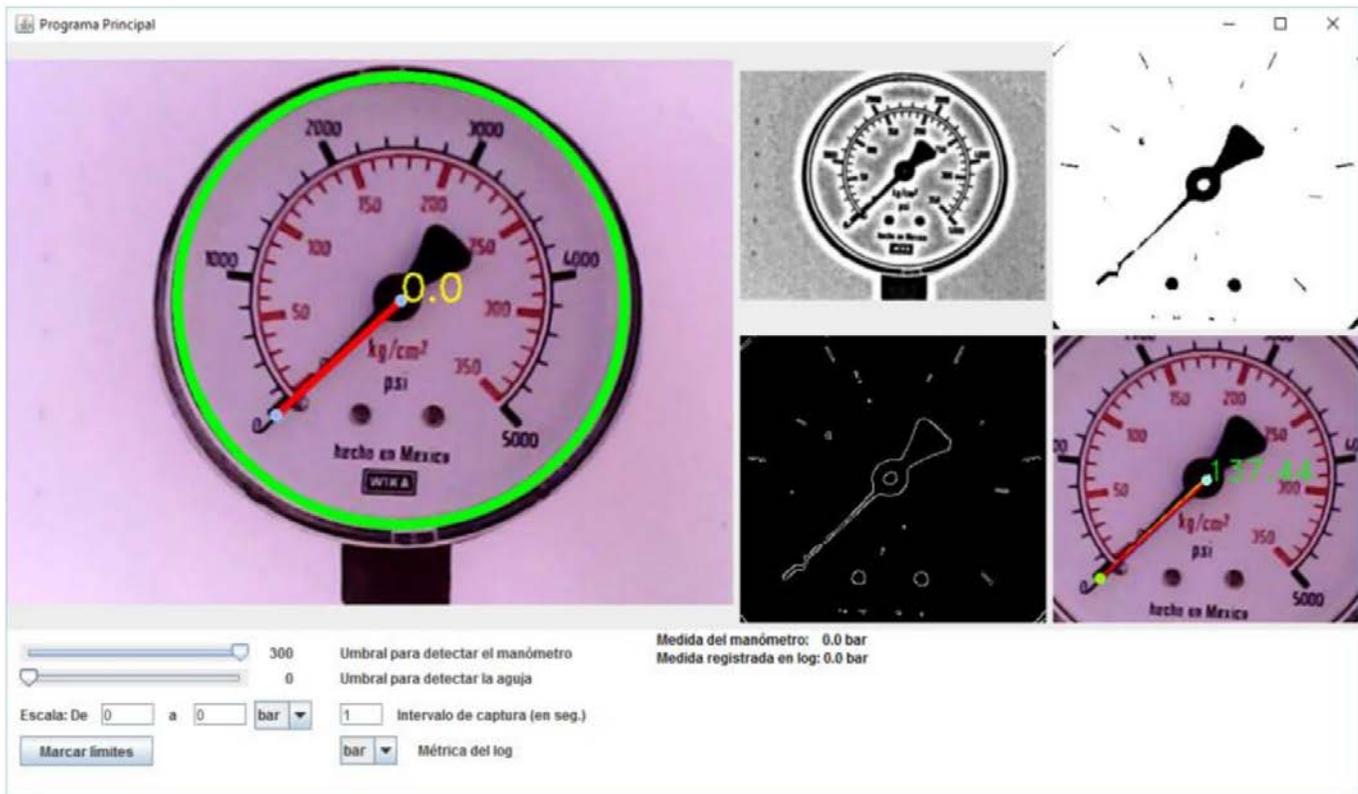


Figura 1 | Interfaz de la aplicación, con ejemplo de captura de datos en tiempo real. Se observa que el valor leído es 0.0

REFERENCIAS

- Forsyth, David, and Jean Ponce. *Computer Vision: A Modern Approach*. 2nd ed. Boston: Pearson, 2012.
- Baggio, Daniel Lélis. *OpenCV 3.0 Computer Vision with Java: Create Multiplatform Computer Vision Desktop and Web Applications Using the Combination of OpenCV and Java. Community Experience Distilled*. Birmingham Mumbai: Packt Publishing, 2015.
- Raspberry Pi [en línea]. 2017. Reino Unido: Raspberry Pi Foundation. <https://www.raspberrypi.org/>
- Duda, Richard O., and Peter E. Hart. "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures." *Commun. ACM* 15, no. 1 (January 1972): 11–15. doi:10.1145/361237.361242.
- Canny, J. "A Computational Approach to Edge Detection." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI-8*, no. 6 (November 1986): 679–98. doi:10.1109/TPAMI.1986.4767851

Estudio piloto para la evaluación de la aplicabilidad en Galicia de sistemas de deshidratación de fangos a través de humedales subsuperficiales de flujo vertical.

Barrio, J.P.^{a1}; Costoya, T.^{b1}; Poncet, J.^{a2} y Verde, R.^{b2}

^aE.P.E. Augas de Galicia. Dr. Maceira 18 Bajo, 15706 Santiago de Compostela.

E-mail: ^{a1}juan.pablo.barrio.martin@xunta.gal, ^{a2}judith.poncet@xunta.gal.

^bAdantia, S.L. Edif. Area Central, 1ª planta, L 32-K (Fontiñas), 15707 Santiago de Compostela.

E-mail: ^{b1}t.costoya@adantia.es, ^{b2}r.verde@adantia.es.

Línea temática | Agua y ciudad

RESUMEN

La depuración de las aguas residuales exige una buena caracterización del afluente a la EDAR, así como una cuidadosa selección de la tecnología ideal para el tratamiento tanto de las aguas residuales como de los fangos generados, teniendo en cuenta las necesidades de tratamiento, el coste de implantación, la disponibilidad de espacio para su implantación, la facilidad de explotación y los costes asociados, factores ambientales y sociales, etc.

El tratamiento de fangos a través de humedales subsuperficiales de flujo vertical es un sistema natural que deshidrata y al mismo tiempo estabiliza el fango de depuradoras biológicas mediante eras de secado plantadas con diferentes especies de ambientes húmedos tales como cañas y juncos.

El fango líquido producido en la purga de la EDAR se dosifica en los humedales donde la acción de las plantas y del aire lo van secando y estabilizando de manera totalmente natural y sin costes.

Una parte del agua contenida en el fango se evapora, otra se absorbe por las plantas y la mayor parte se infiltra obteniéndose un lixiviado de aceptable calidad que se retornaría a cabecera de planta para su tratamiento.

Los únicos costes de este sistema serían la corta de las cañas todos los inviernos para favorecer su rebrote y periódicamente, cada 5/10 años, renovar todo el sistema (retirada de plantas, fangos y capas de drenaje).

Este tratamiento presenta como ventajas un bajo coste de implantación, un bajo coste de mantenimiento, que la mano de obra no necesita una cualificación especial y que no se utilizan reactivos. Como inconvenientes estaría la alta superficie ocupada, la necesidad puntual de mano de obra y la posibilidad de que se generen afecciones ambientales (olores, vectores sanitarios).

Puede observarse que los inconvenientes relatados disminuyen notablemente cuando se tiene acceso a superficies de implantación amplias y apartadas de las zonas urbanizadas. La configuración del rural gallego, con un gran número de poblaciones de pequeño tamaño podría ser muy adecuada para la implantación de este tipo de instalaciones, sin embargo, su presencia es muy escasa. La influencia del clima (precipitaciones, viento, temperatura, etc.) en el proceso es significativa y puede ser un motivo de peso para frenar su desarrollo en Galicia

El objetivo del estudio es valorar la idoneidad del método para su aplicación en Galicia, en pequeñas EDAR que no cuentan con equipos de deshidratación. Debido a la alta incidencia que tiene el clima en este método resulta muy interesante valorar su aplicabilidad de forma experimental.

La valoración de la idoneidad del método se realizará a través de los resultados obtenidos en dos ensayos piloto instalados en la EDAR de Touro.

El experimento queda configurado con la instalación de dos ensayos piloto, formados por sendos contenedores (dos GRG de aproximadamente 1 m³ cada uno) dotados con tubos de ventilación y drenaje en los que se han aplicado una capa de grava de 18 cm de espesor, otra de gravilla de 20 cm y, finalmente, una capa de arena de 15 cm de espesor. La configuración de ambos es idéntica salvo que uno se ha dejado tal cual y en el otro se ha plantado vegetación del género *Typha* e *Iris*.

Se ha establecido como carga de diseño para el primer año del humedal 20 kg M.S./m²/año, tomando como referencia los valores recomendados para países como Francia o Bélgica, más próximos a la climatología de Galicia que la referencia para España, que está referida a la zona seca de la península.

Con carácter general, la aplicación se ha realizado de forma mensual tratando de dosificar en cada operación una carga de 2 kg MS. En cada aplicación se han tomado muestras de licor mezcla del reactor biológico, fango espesado y lixiviado de cada uno de los ensayos. Puntualmente se han cogido muestras de la costra de fango.

Con el experimento se persigue definir los siguientes ítems:

1. Valoración de la experiencia en Touro. Problemática observada, comparación de resultados entre ensayos piloto y valoración de la aplicabilidad del método al caso concreto de la EDAR de Touro.
2. Caracterización del lixiviado: evolución con la carga aplicada, comparación entre humedal y era de secado.
3. Caracterización de la costra generada sobre la superficie: sequedad conseguida, grado de estabilización, comparación entre humedal y era de secado.

El ensayo se ha iniciado en febrero de 2016 y actualmente continúa en marcha.



Figura 1 | Ensayos piloto (09/06/2016). A la izquierda era de secado (sin plantas), a la derecha humedal (con plantas).

Optimización de la eliminación de P en una EDAR mediante el empleo de un software de modelización del funcionamiento de la planta (BioWin).

Barrio, J.P.^{a1}, Casas, O.^{c1}, Poncet, J.^{a2}, Muíño, P.^{b1} y Verde, R.^{c2}

^aE.P.E. Augas de Galicia. Dr. Maceira 18 Bajo, 15706 Santiago de Compostela.

E-mail: ^{a1}juan.pablo.barrio.martin@xunta.gal ^{a2}judith.poncet@xunta.gal.

^bEstudiante del Máster de Ingeniería Ambiental, ETS de Ingeniería de la Universidad de Santiago de Compostela, Rúa López de Marzoa s/n, Campus Sur. E-mail: paula.muino.parente@rai.usc.es

^cAdantia,SL. Edif. Area Central, 1ª planta, L 32-K (Fontiñas), 15707 Santiago de Compostela.

E-mail: ^{c1}o.casas@adantia.es ^{c2}r.verde@adantia.es

Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

En el presente trabajo se hace un análisis del proceso depurativo de una EDAR urbana gallega de tipo biológico y de aireación prolongada, que cuenta en su línea de aguas con un tratamiento de eliminación biológica conjunta de nutrientes (nitrógeno y fósforo). El objetivo principal de este estudio es verificar si es posible mejorar la calidad del efluente, en particular de las concentraciones de fósforo, que en épocas menos lluviosas suelen ser superiores a la impuesta en la Autorización de vertido (2 mg/l).

Ya que las condiciones y supuestos de diseño bajo las que se proyectó la planta difieren de las actuales, resulta interesante analizar el funcionamiento real de la misma, para lo cual se emplea el software de modelización BioWin (versión 5.1). Con este programa se crea un modelo de la planta en base a los datos de caudal (de agua y fangos) registrados, cargas contaminantes del influente y el efluente, y demás datos de las instalaciones construidas y equipos instalados. Una vez calibrado y validado el modelo, se habrá conseguido reproducir el comportamiento real de la EDAR y se procederá al análisis de su respuesta frente a la variación de diversos factores clave en el rendimiento del proceso depurativo.

En el caso particular de esta planta, que da servicio a una población de 20 000 habitantes equivalentes y caudal medio de diseño de 5 000 m³/d, fue necesaria la ejecución de dos modelos distintos en base a la configuración bajo la que trabajasen los dos tanques de aireación de que dispone la planta tras el selector anaerobio: como doble canal de reacción en paralelo o como doble canal de reacción – decantación (ver Figuras 1 y 2).

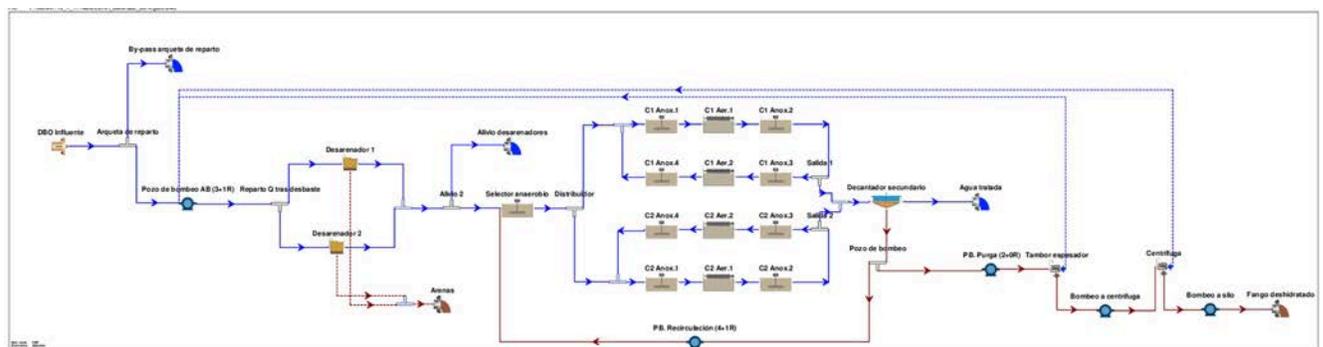


Figura 1 | Modelo de la EDAR en BioWin versión 5.1 bajo la configuración como doble canal de reacción en paralelo con decantador secundario.

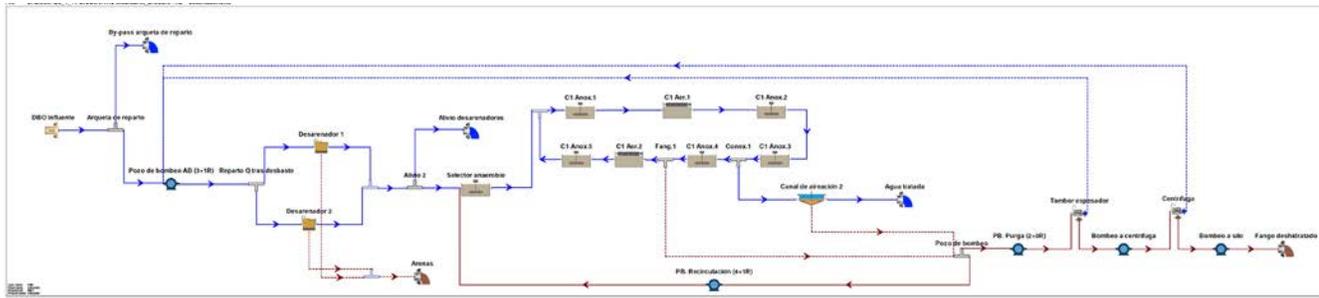


Figura 2 | Modelo de la EDAR en BioWin versión 5.1 bajo la configuración como doble canal de reacción - decantación.

Dicho esto, se realizaron varias simulaciones con ambos modelos, variando aspectos tales como:

- Las condiciones de aireación: con una disminución de las consignas de oxígeno de los equipos de aireación y/o variación de las duraciones de los ciclos de nitrificación – desnitrificación.
- Reducción de la edad del fango (SRT).
- Variación del tamaño del selector anaerobio en relación a la suma del volumen aerobio y el anóxico, según las recomendaciones encontradas en la bibliografía consultada.
- Dosificación mínima necesaria de cloruro férrico y de sulfato de alúmina para el cumplimiento en fósforo de la Autorización de vertido sin variar ningún otro parámetro.

Una vez estudiados todos estos supuestos, desde el punto de vista del proceso de depuración biológico, se concluye que:

- Para la configuración como doble canal de reacción en paralelo con decantador secundario: basta con una disminución de la consigna de oxígeno en los tanques de aireación (en detrimento de la nitrificación) combinada con una reducción de edad del fango, para alcanzar el nivel de fósforo buscado.
- Para la configuración como doble canal de reacción - decantación: es suficiente con una disminución de la consigna de oxígeno en los tanques de aireación, para cumplir en fósforo.

Por último, el programa estima el coste diario de la depuradora en base a las potencias de los equipos, las tarifas energéticas, costes de gestión y demás datos incluidos en los modelos, lo que permite evaluar en cierta medida las implicaciones económicas de los diversos escenarios.

Actualización de tarifas de agua con base en la capacidad de pago de los usuarios

Casados-Prior, J.A.⁽¹⁾; Rodríguez-Varela, J.M.⁽²⁾ y Antúñez-Leyva, E.⁽³⁾

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Hidráulica, Subcoordinación de Hidráulica Urbana. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, 62550, México. E-mail: ¹jorgecasados@tlaloc.imta.mx; ²manuel_rodriguez@tlaloc.imta.mx; y ³eantunez@tlaloc.imta.mx

Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

La situación que impera a nivel mundial por la gobernanza del agua en las ciudades no es distinta a la que priva en nuestro país, razón por la cual no hay duda de que el mayor reto al que se enfrenta la humanidad en el siglo XXI es el relativo a la calidad y gestión del agua, que se ha convertido en un factor limitado para la salud e higiene de las personas; la producción de alimentos y la estabilidad social y política de los pueblos. Actualmente con el mandato establecido en el artículo 4°, párrafo sexto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos sobre el Derecho Humano al Agua, que a la letra dice: “*Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines*”, ante esta situación los Organismos Operadores de Agua Potable y Saneamiento en México presentan deficiencias que les impiden cumplir sus objetivos. Entre los principales problemas se encuentran; la insuficiencia de recursos económicos; la falta de continuidad de sus administraciones; deficiencia en la gestión y planeación; ineficiencia en la gestión organizacional, técnica y comercial; marco jurídico y regulatorio inadecuados; estructuras y niveles tarifarios que no reflejan los costos de la operación para la prestación del servicio; politización de las decisiones y programas anuales de trabajo; baja o nula disposición de pago por parte de los usuarios; endeudamiento excesivo por falta de liquidez y rigidez en los esquemas de autorización de tarifas.

La escasez, el uso inadecuado del recurso, el incremento en la demanda del servicio, las pérdidas físicas, la sobreexplotación y la imprescindible necesidad de aplicar políticas públicas que desalienten el desperdicio y el abuso en el uso del agua han provocado un deterioro constante de las fuentes de aprovechamiento que se traducen en una baja o escasa disponibilidad del agua en muchas regiones. Este estudio se enfoca a la localidad de Erongarícuaro, Michoacán en México, la cual es una comunidad relativamente pequeña, donde el problema principal como en muchos otros lugares es la falta de una cultura de pago por parte de los usuarios que reciben el servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento, argumentando que el agua debe ser gratis, subsidiada o que no cuentan con recursos económicos para el pago, esto ha ocasionado que más del 45% de los usuarios que cuentan con una toma domiciliaria registrada en el padrón no realicen su pago, provocando un bajo desempeño y una mala calidad en la prestación de los servicios de abastecimiento de agua. En cuanto a operación y gestión administrativa, estas situaciones impiden que el organismo no pueda desarrollar sus funciones y capacidades económicas para llegar a ser autosuficiente, esta realidad los obliga a adquirir financiamiento externo con altas tasas de intereses.

Se decidió realizar este estudio para analizar la situación socioeconómica de la población e identificar: la capacidad de pago de acuerdo a los ingresos en salarios mínimos per cápita en la localidad; tipo de vivienda que habita y servicios públicos contratados adicionales, por citar algunos ejemplos, así como también la situación financiera del organismo operador, con la finalidad de conocer cuáles son las deficiencias en las que está incurriendo, las oportunidades de mejora y definir si el problema radica en la economía de la población o en una inadecuada administración de las finanzas del organismo operador. El estudio se desarrolló partiendo de un diagnóstico general y comercial de la localidad (Casados-Prior, J.A, et al, 2016), con el fin de identificar la viabilidad socioeconómica y ambiental del desarrollo de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en el corto y mediano plazo. Se realizó una evaluación de la situación económica y social de la localidad para el

desarrollo y mejora de los servicios de agua, así como también las costumbres en el uso de la misma. Se especifica la población económicamente activa y su capacidad de pago. Se incluyen los resultados obtenidos de una encuesta a los usuarios sobre la imagen institucional y satisfacción del usuario en la prestación del servicio, así como la calidad, cantidad, continuidad del servicio de agua que reciben, la atención de sus quejas, así como los costos que están dispuestos a pagar por un mejor servicio.

Metodología

El análisis socioeconómico se llevó a cabo con base en dos factores, primero el costo social; el cual es difícil de cuantificar pero se puede estimar si consideramos el deterioro de la salud de las personas con las repercusiones económicas que estas situaciones le ocasionan y el segundo; el análisis económico de los costos. Estos factores se pueden equilibrar con los beneficios económicos tangibles, como el aumento de producción, los ingresos, etc. (Cavassa, 2005). Se tomó la información sobre indicadores demográficos, sociales y económicos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), así como también el Área Geoestadística Básica (AGEB) la cual representa la extensión territorial que corresponde a la subdivisión de las áreas geoestadísticas municipales, dependiendo de sus características, se clasifican en dos tipos: AGEB urbana o AGEB rural. (INEGI, 2010). En esta ocasión se utilizó el AGEB urbana para identificar el tipo de vivienda que los usuarios tienen en la localidad de acuerdo a su situación socioeconómica y se graficó con el uso del software ARCGIS para cada tipo de estos estatus socioeconómicos y la información se correlacionó para identificar si la clasificación del usuario en el padrón corresponde al tipo de contrato y tarifa que debe pagar y si cuentan con la capacidad económica suficiente para cumplir con su pago mensual por los servicios de agua potable y saneamiento que recibe. Para representar los resultados se empleó el Modelo CANVAS, que consiste en un método de negocio sustentado en la innovación administrativa, con el objeto de crear y generar una ventaja competitiva aplicable que beneficie al organismo operador y al usuario. Este modelo está compuesto por nueve elementos esenciales que las organizaciones llevan a cabo en sus actividades de negocio y examinan cada uno de estos elementos, hasta encontrar un modelo sustentable en VALOR AGREGADO para crear un negocio exitoso. (Quijano, 2016).

Conclusiones

En Erongarícuaro la mayoría de la población 61 al 80% cuenta con capacidad económica que le permite realizar la adquisición de los bienes y servicios necesarios para una casa habitación y para el pago del servicio de agua potable. Con esta información y considerando la recomendación del INEGI 2010 sobre la estadística porcentual del gasto de una familia destinada a bienes, alimentación y servicios en una vivienda, se aplicó el 6.2% al total de los ingresos que obtienen por el desempeño de su actividad laboral, con lo que se determinó que la población si cuenta con la capacidad de pago para el servicio del agua potable. El rezago mensual que se acumula por falta de pago del servicio de agua, no se debe a que la población no cuente con recursos económicos para realizarlo debido a que el 87.34% de la población económicamente activa puede pagar la cuota establecida para uso doméstico que es de por lo menos \$70.00 pesos mensuales (3.5 USD o 3.2 €), porque en realidad de acuerdo a sus ingresos podría pagar hasta \$130.00 pesos al mes (6.5 USD o 6 €) que corresponde al 6.2% del ingreso de un salario mínimo que oscila entre los \$2,100.00 pesos (105 USD o 95.5 €). Por lo consiguiente, se concluye que los usuarios si cuentan con los recursos económicos suficientes para pagar los servicios de agua potable y no debe ser subsidiada ni mucho menos gratis. La conclusión final es que con el 67% de los usuarios que paguen se alcanza el punto de equilibrio y el porcentaje adicional que se obtenga de ingresos ya sería utilidad, con lo que el organismo operador tendería a ser autosuficiente.

Referencias

- Cavassa, C. R. (2005). Seguridad Industrial: Un enfoque integral. Editorial Limusa México.
- Erongarícuaro, H. A. (2015). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México.
- INEGI. (2010). México en cifras.
- Casados-Prior, J. A. et al, 2016. Diagnóstico comercial para el mejoramiento de los servicios de agua potable y saneamiento de Erongarícuaro, Michoacán, México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos. México.
- Quijano, G. (2016). Marketing y Finanzas.

Transición colaborativa hacia el drenaje sostenible: una experiencia a escala de barrio

Castillo-Rodríguez, J.T.^{1,2}, Andrés-Doménech, I.¹, Perales-Momparler, S.³, Escuder-Bueno, I.^{1,2}

¹ Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València (UPV), Camino de Vera SN, 46022 Valencia. E-mail: igando@hma.upv.es ; iescuder@hma.upv.es

² iPresas Risk Analysis, E-mail: jcastillo@ipresas.com

³ Green Blue Management. E-mail: sara.perales@greenbluemanagement.com

Línea temática | Agua y ciudad

RESUMEN

El empleo de sistemas de drenaje sostenible (SuDS), en combinación con los elementos convencionales de los sistemas de alcantarillado, representa una gran oportunidad para extender en las ciudades una vía alternativa de gestión de las escorrentías pluviales que permita resolver más eficientemente los problemas de cantidad, calidad y consumo energético que presentan los sistemas tradicionales. La participación activa de todos los agentes implicados en el ciclo urbano del agua es necesaria para conseguir esta gestión avanzada e integrada del drenaje en la ciudad. El proyecto CoSuDS (*Collaborative transition towards sustainable urban drainage: Making it happen at district scale*), co-financiado por la plataforma europea Climate-KIC, ha permitido promover la transición hacia una gestión inteligente del agua de lluvia desde una perspectiva colaborativa, reduciendo las barreras existentes en el proceso, entre la implantación a escala de piloto experimental y la estrategia completa a escala ciudad. El proyecto ha proporcionado herramientas prácticas e innovadoras para favorecer la transición hacia una gestión eficiente y sostenible del agua de lluvia en las ciudades mediante SuDS, poniendo en valor los resultados de proyectos europeos anteriores como son el proyecto AQUAVAL (www.aquavalproject.eu) y E²STORMED (www.e2stormed.eu) [Perales-Momparler et al., 2014, 2015, 2016; Escuder-Bueno et al., 2015].

Desde un enfoque multisectorial, el proyecto ha involucrado a administraciones, entorno empresarial, ámbito académico y a la ciudadanía, entre otros, a través de sesiones colaborativas con el objetivo de plantear soluciones para una zona de estudio de la ciudad de Castellón (municipio piloto del proyecto). El barrio piloto, correspondiente a la zona del *Raval Universitari*, está situado al oeste del núcleo urbano y linda al sur con el cauce del río Seco, medio receptor de los excedentes del sistema. Las sesiones han contado con la participación de una treintena de agentes vinculados a la gestión del agua en la ciudad, al desarrollo urbano y a la sostenibilidad ambiental, todo ello a escala local, regional y nacional. Estas aproximaciones multi-actor, altamente demandadas por la sociedad actual, están en el centro del proyecto. Las sesiones desarrolladas han puesto de manifiesto que con una correcta selección de participantes y organización de las mismas se consigue el objetivo de definir una estrategia urbana óptima, en este caso desde el punto de vista del drenaje. La primera sesión se centró en el diagnóstico del barrio piloto: identificación de problemas y análisis de barreras y oportunidades para el cambio de paradigma hacia una gestión más sostenible. En esta fase, la participación de los vecinos conjuntamente con la de los técnicos demuestra la importancia de este enfoque. En la segunda sesión se planteó el análisis de soluciones de distribución potencial en el barrio de cinco tipologías distintas de SuDS: cubiertas verdes, pavimentos permeables, zanjas de infiltración, jardines de lluvia y áreas de infiltración. Finalmente, la tercera sesión se centró en la presentación y discusión de propuestas (Figura 1) y en la definición de la estrategia a escala de barrio, así como su potencial replicabilidad a escala ciudad en Castellón.



Figura 1 | Ejemplo de actuación de regeneración propuesta: remodelación de una esquina de pavimento impermeable con un jardín de lluvia.

Los resultados obtenidos en el proyecto CoSuDS han hecho del barrio del *Raval Universitari* de Castellón un ejemplo de referencia para otras ciudades de cómo se puede articular la transición desde el enfoque participativo multisectorial. Así, se emplearán para ampliar la estrategia a escala ciudad. No obstante, el éxito de una estrategia verde a escala ciudad dependerá en buena medida de la capacidad de las autoridades locales para implicar y organizar a todos los agentes involucrados, de la capacidad de éstos para emplear las herramientas y conocimientos necesarios para alcanzar los objetivos y de un nivel de interacción alto entre todos ellos.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto CoSuDS (*Collaborative transition towards sustainable urban drainage: Making it happen at district scale*) está cofinanciado por la plataforma europea Climate-KIC (APUT0023_1.1.1-237_P066-03).

REFERENCIAS

- Perales Momparler, S.; Andrés Doménech, I.; Hernández Crespo, C.; Vallés Morán, FJ.; Martín Monerris, M.; Escuder Bueno, I.; Andreu Álvarez, J. The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain, 2016, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.05.153
- Perales Momparler, S.; Andrés Doménech, I.; Andreu Álvarez, J.; Escuder Bueno, I. A Regenerative urban stormwater management methodology: The journey of a Mediterranean city, *Journal of Cleaner Production* 109, 2015, DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.02.039
- Perales Momparler, S.; Hernández Crespo, C.; Vallés Morán, FJ.; Martín Monerris, M.; Andrés Doménech, I.; Andreu Álvarez, J.; Jefferies, C. (2014). SuDS efficiency during the start-up period under Mediterranean climatic conditions. *CLEAN - Soil, Air, Water*. 42(2):178-186. DOI:10.1002/clen.201300164
- Escuder Bueno, I. et al. Report on Stormwater Management, E²STORMED project, March 2015, <http://www.e2stormed.eu/> Last accessed on 16/12/2016.

Enfoque integral para la monitorización en tiempo real de redes de abastecimiento de agua mediante técnicas de estimación de estado

Sarai Díaz^a, Javier González^b y Roberto Mínguez^c

^aUniversidad de Castilla-La Mancha, ETSI Caminos, Canales y Puertos Ciudad Real, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Edificio Politécnico Av. Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real (España). E-mail: Sarai.Diaz@uclm.es, ^bUniversidad de Castilla-La Mancha, ETSI Caminos, Canales y Puertos Ciudad Real, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Edificio Politécnico Av. Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real (España). E-mail: Javier.Gonzalez@uclm.es y ^cHIDRALAB INGENIERÍA Y DESARROLLOS, S.L., Spin-Off UCLM, Laboratorio Hidráulica Universidad Castilla-La Mancha. Av. Pedriza-Camino Moledores s/n, 13071, Ciudad Real (España). E-mail: roberto.minguez@hidralab.es

Línea temática | C. Agua y ciudad

RESUMEN

Durante las últimas décadas las redes de abastecimiento de agua potable se han ido modernizando mediante la instalación de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), que pretenden monitorizar el comportamiento en tiempo real del sistema. Más concretamente, hoy día se están instalando sistemas de telemetría o sistemas SCADA (del inglés, *Supervisory Control and Data Acquisition*), que permiten recoger la información proporcionada por los sensores distribuidos en la red. Sin embargo, esta ingente cantidad de datos debe ser filtrada y transformada en información útil para la mejora del servicio al usuario, extendiendo la información puntual proporcionada por cada sensor (i.e. caudalímetros, contadores, piezómetros y sensores de nivel) en información hidráulica para toda la red. Con este objetivo, se desarrollaron en los años 1970s las técnicas de estimación de estado, inicialmente concebidas para estimar el estado de grandes redes eléctricas (Schweppe y Wildes, 1970). Poco después, estas técnicas fueron adaptadas a redes de distribución de agua potable, donde han sido ampliamente trabajadas a nivel académico y científico desde principios de los 1980s. Sin embargo, estas técnicas apenas han sido implementadas en sistemas reales a nivel operacional. Esto limita las posibilidades de las herramientas TIC en redes de agua, donde la estimación de estado constituye un primer paso fundamental.

Con el objeto de sacar el máximo partido a las millonarias inversiones que se vienen realizando en sistemas de tecnologías de la información, es necesario adaptar las técnicas de estimación de estado y otros análisis relacionados a redes de abastecimiento de agua potable. En este sentido, en los últimos años se ha llevado a cabo un esfuerzo por extrapolar técnicas tradicionalmente empleadas para la estimación de estado en el sector eléctrico a sistemas de agua. Este es el caso de la adaptación del análisis de observabilidad, que pretende evaluar si el conjunto de aparatos de medida existentes es suficiente para caracterizar el estado hidráulico del sistema (e.g. Díaz et al., 2016), la evaluación de la incertidumbre de la estimación de estado (e.g. Díaz et al, 2016a), o la ubicación óptima de dispositivos (e.g. Kang y Lansey, 2010), así como el desarrollo de técnicas para la resolución del problema de estimación de estado en sí (e.g. Kumar et al., 2008). Sin embargo, para fomentar el empleo de estas técnicas en redes de abastecimiento reales no es suficiente con realizar una extrapolación de técnicas existentes en otros campos de conocimiento, sino que también es necesario poner de manifiesto el potencial que éstas presentan para abordar otros problemas que resultan de interés para el sector.

El objetivo de este trabajo es presentar un enfoque integral que permita sacar el máximo partido a la información disponible de la red en tiempo real mediante la implementación de técnicas de estimación de estado. Para ello, se presentan algunas aplicaciones que permiten determinar el estado de bombas y válvulas (Díaz et al., 2017), evaluar la capacidad de detección de fugas o roturas en la red, o calibrar el sistema. Nótese que todas estas aplicaciones se han venido tratando habitualmente como problemas específicos e independientes entre sí, pero en este trabajo se abordan desde la perspectiva común de la estimación de estado. En el caso del análisis del estado de bombas y válvulas, se han planteado cuestiones topológicas con vistas a resolver la red de flujo (e.g. Giustolisi et al., 2008), pero nunca antes desde la perspectiva de la estimación de estado. Por su parte, un gran número de publicaciones se han orientado a detectar fugas o roturas (ver Puust et al. (2010) para más detalle), pero pocas han explorado las posibilidades de la estimación de estado con este fin (e.g. Carpentier y Cohen, 1991). Del

mismo modo, muchos trabajos se han dedicado a calibrar redes de abastecimiento de agua, pero este tema aún no se puede considerar cerrado (Savic et al., 2009), y su resolución mediante técnicas de estimación de estado es aún incipiente (Kumar et al., 2010). La escasa implementación de estas técnicas refleja la necesidad de desarrollar una metodología integral que permita abordar con generalidad las diferentes cuestiones que preocupan en el sector.

Este trabajo pone de manifiesto las posibilidades de la estimación de estado en la monitorización y gestión de las redes de abastecimiento, permitiendo la realización automática de cuestiones prácticas tales como calibrar la red a partir de la información en tiempo real del sistema, extraer información sobre el estado de bombas y válvulas cuando éste es desconocido, o evaluar la capacidad de detección de pérdidas. Estas capacidades permiten situar la estimación de estado como el complemento perfecto a los sistemas de instrumentación y TIC para la monitorización en tiempo real de las redes de abastecimiento.

REFERENCIAS

- Carpentier, P., Cohen, G. 1991. State estimation and leak detection in water distribution networks. *Civil Engineering Systems* 8(4), 247-257.
- Díaz, S., González, J., Mínguez, R. 2016. Observability analysis in water transport networks: Algebraic approach. *Journal of Water Resources Planning and Management* 142(4), 04015071.
- Díaz, S., González, J., Mínguez, R. 2016a. Uncertainty evaluation for constrained state estimation in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* 142(12), 06016004.
- Díaz, S., Mínguez, R., González, J. 2017. Topological observability analysis in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 06017001.
- Giustolisi, O., Kapelan, Z., Savic, D. 2008. Algorithm for automatic detection of topological changes in water distribution networks. *Journal of Hydraulic Engineering* 134(4), 435-446.
- Kang, D., Lansey, K. 2010. Optimal meter placement for water distribution system state estimation. *Journal of Water Resources Planning and Management* 136(3), 337-347.
- Kumar, S. M., Narasimhan, S., Bhallamudi, S. M. 2008. State estimation in water distribution networks using graph-theoretic reduction strategy. *Journal of Water Resources Planning and Management* 134(5), 395-403.
- Kumar, S. M., Narasimhan, S., Bhallamudi, S. M. 2010. Parameter estimation in water distribution networks. *Water Resources Management* 24(6), 1251-1272.
- Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A., Koppel, T. 2010. A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal* 7(1), 25-45.
- Savic, D. A., Kapelan, Z. S., Jonkergouw, P. M. R. 2009. Quo vadis water distribution model calibration? *Urban Water Journal* 6(1), 3-22.
- Schewpe, F. C., Wildes, J. 1970. Power system static-state estimation, Part I: Exact model. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* PAS-89(1), 120-125.

La nueva EDAR de Lagares (Vigo). Aspectos novedosos incorporados al diseño de la instalación.

Fernández, C.^a

^a Sociedad Mercantil Estatal Aguas de las Cuencas de España, S.A. (ACUAES), Calle Agustín de Betancourt, 25- 4ª planta. 28003 Madrid. E-mail: ^acarlos.fernandez@acuaes.com.

Línea temática | C. Agua y ciudad

RESUMEN

La ría de Vigo recibe los efluentes de depuración de unos 420.000 habitantes, de los que aproximadamente 300.000 utilizan el sistema de saneamiento de la ciudad de Vigo. A estos vertidos se suman tanto los procedentes de una intensa actividad industrial como los derivados de los importantes incrementos de población que se producen durante la época estival. Además, la ría alberga una importante actividad marisquera y está rodeada por un gran número de zonas de baño, siendo estas actividades fuertemente dependientes de la calidad de las aguas, especialmente, en lo relativo al control de la contaminación fecal.

La elevada presión sobre el medio receptor, unida al deficiente funcionamiento del conjunto de sistemas de saneamiento vertientes a la ría de Vigo, derivó en que la Unión Europea propusiese en el año 2005 la imposición de una elevada sanción económica al Reino de España por el incumplimiento de la Directiva 79/923/CEE del Consejo, de 30 de octubre de 1979, relativa a la calidad exigida a las aguas para cría de moluscos, al no haber adoptado un programa de reducción de la contaminación para la Ría de Vigo.

En respuesta a esta situación se concibió la actuación “Saneamiento de Vigo”, que engloba la construcción de la nueva EDAR de Lagares (Vigo), y cuyas obras han sido desarrolladas por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, a través de la sociedad estatal Acuaes, en colaboración con la Xunta de Galicia y el Concello de Vigo.

La nueva EDAR ha sido diseñada para dar respuesta a las condiciones de vertido exigidas en la Directiva 91/271/CEE para zonas sensibles de más de 100.000 h-e. y puede admitir caudales de hasta 12 m³/s con una capacidad de tratamiento en términos de contaminación de hasta 800.000 h-e (año horizonte 2042), lo que la convierte en la EDAR con mayor capacidad de tratamiento de Galicia.

Por el hecho de tratarse de un proyecto de reciente ejecución, la nueva EDAR de Lagares incorpora en sus procesos e instalaciones las últimas tecnologías asociadas al diseño de estaciones de tratamiento de aguas residuales. Uno de los objetivos de la presente comunicación es exponer algunas de las novedades tecnológicas incorporadas y compartir el conocimiento adquirido en la utilización de las mismas. Ejemplos de lo anterior son:

- El estudio piloto y diseño de un sistema de hidrociclizado de lodos para minimizar los efectos negativos del transporte y acumulación de arenas a lo largo de los sucesivos procesos de tratamiento.
- La evaluación y optimización mediante técnicas computacionales de dinámica de fluidos (CFD) de la ventilación en los recintos cerrados de la nueva EDAR
- La implantación de un proceso de pretratamiento de lodos mediante hidrólisis térmica, en lo que supuso una experiencia pionera en España en el uso de esta tecnología dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas.
- El tratamiento de los retornos de deshidratación mediante procesos de desamonificación basados en el uso de la tecnología Demon®.

La necesidad de adaptarse tanto al entorno natural existente en la zona como a la presencia cercana de núcleos habitados derivó en la concepción de una depuradora en la que todos los procesos de tratamiento se realizan en recintos confinados a fin de lograr un adecuado control de las emisiones de ruidos y olores y que, al mismo tiempo, busca la integración paisajística de

las instalaciones. A este hecho contribuye de modo significativo la decisión de ubicar en un recinto subterráneo las instalaciones de pretratamiento y decantación primaria, de modo que su cubierta forme parte del área ajardinada del recinto de la EDAR situada en la parte más cercana a la marisma del río Lagares.



Figura 1 | Vista general de las instalaciones de la nueva EDAR de Lagares e integración en el entorno natural de la marisma del río Lagares.

Dentro del diseño de las nuevas instalaciones, y marcado por el entorno habitado que las rodea, cobra especial importancia el diseño de los sistemas de tratamiento, control y gestión de las emisiones de olor. Estos sistemas permitirán, tanto alcanzar los niveles de emisión de parámetros contaminantes establecidos en el diseño de los equipos de desodorización como establecer estrategias de operación destinadas a minimizar el impacto odorífero de la nueva depuradora.

La inversión prevista para el conjunto de la actuación Saneamiento de Vigo superará los 170 millones de euros, que serán cofinanciados por el Ministerio, a través de Acuaes y el Fondo de Cohesión de la Unión Europea, la Xunta de Galicia y el Concello de Vigo.

Simulación numérica de flujo superficial acoplado con redes de drenaje

Fernández-Pato, J.^{a1} y García-Navarro, P.^{a2}

^{a1}LIFTEC(CSIC)-Universidad de Zaragoza, C/ María de Luna, Edif. Torres Quevedo, 50018 Zaragoza (España).
e-mail: ^{a1}jfpato@unizar.es, ^{a2}pigar@unizar.es.

Línea temática | C. Agua y ciudad

RESUMEN

La simulación numérica de flujos combinados o mixtos es una herramienta muy práctica a la hora de prevenir posibles situaciones de inundación en entornos naturales o urbanos. Ante un evento de lluvia de gran magnitud, la limitada capacidad de desagüe de una red de drenaje puede provocar situaciones no deseadas que conviene poder simular computacionalmente para una mejor gestión en un caso real. En concreto, resulta interesante calcular la posible presurización de la red de tuberías y la dinámica superficial del agua, en caso de desbordamiento.

En este trabajo se presenta el acoplamiento de dos modelos: 1) Modelo de flujo superficial basado en las ecuaciones bidimensionales de aguas poco profundas con el que es posible resolver de manera precisa la dinámica del agua sobre el terreno, así como la transformación de lluvia en escorrentía a través de diferentes submodelos de infiltración; 2) Modelo de simulación de redes de drenaje subterráneas cuyo régimen mayoritario de funcionamiento sea el de lámina libre, pero que se puedan ver presurizadas ante situaciones puntuales. La red de tuberías se modeliza mediante tramos unidimensionales conectados mediante uniones de tipo “Y”. La posible presurización puntual de los conductos se simulará a través del método de la rendija de Preismann (Abbott y Cunge, 1982), mediante el cuál es posible obtener una estimación de la presión en el interior de los conductos resolviendo las ecuaciones de lámina libre, sin necesidad de considerar flujo a presión. El acoplamiento de los dos modelos tendrá lugar en regiones puntuales del dominio, tales como desagües o alcantarillas.

Las técnicas numéricas consideradas para la resolución de ambos modelos matemáticos están basadas en esquemas de volúmenes finitos con una discretización *upwind* de primer orden (Murillo y García-Navarro, 2010; Fernández-Pato y García-Navarro, 2014)

REFERENCIAS

- Abbott, M.B., Cunge, J.A. eds. 1982. Engineering applications of computational hydraulics: homage to Alexandre Preissmann. *Pitman, Boston*.
- Murillo, J., García-Navarro, P. 2010. Weak solutions for partial differential equations with source terms: Application to the shallow water equations. *Journal of Computational Physics* 229, 4327-4368.
- Fernández-Pato, J., García-Navarro, P. 2014. Finite volume simulation of unsteady water pipe flow. *Drinking Water Engineering and Science* 7, 83-92.

Análisis de sensibilidad en los procesos de vaciado de los sistemas de distribución de agua

Fuertes-Miquel, V.S.^a, Coronado-Hernández, O.E.^b, Iglesias-Rey, P.L.^c, Mora-Meliá, D.^d

^aProfesor Titular, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, Valencia 46022, España, vfuentes@upv.es, ^bEstudiante de Doctorado en Ingeniería del Agua y Medioambiental, Universitat Politècnica de València, Valencia 46022, España; ^cProfesor Asistente, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena 131001, Colombia, ocoronado@unitecnologica.edu.co, ^dProfesor Titular, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, Valencia 46022, España, piglesia@upv.es y ^eProfesor Asistente, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Universidad de Talca, Curicó, Chile, damora@utalca.cl

Línea temática | C. Agua y ciudad

RESUMEN

El análisis de los procesos de vaciado de agua en sistemas hidráulicos presurizados es complejo de analizar debido a que es necesario comprender el comportamiento hidráulico del agua (fase líquida) junto con el comportamiento termodinámico de la bolsa de aire atrapada en dicho sistema (fase gaseosa). Los autores han desarrollado un modelo matemático robusto que permite simular y analizar dicho comportamiento (Coronado-Hernández et al., 2016, 2017; Fuertes-Miquel et al., 2017), el cual ha sido validado en los laboratorios de la Universitat Politècnica de València (España) y de la Universidad de Lisboa (Portugal). En particular, este modelo matemático ha sido desarrollado para los dos casos presentados a continuación: Caso No. 1 (tubería simple con extremo aguas arriba cerrado), que corresponde al caso en donde no se instalan ventosas o donde éstas han fallado debido a problemas de mantenimiento; y el Caso No. 2 (tubería simple con una ventosa instalada en el extremo aguas arriba), que corresponde a la situación ideal debido a que la válvula brinda fiabilidad al sistema durante el procedimiento de vaciado. En la Tabla 1 se presenta el planteamiento matemático para los dos casos antes mencionados.

Tabla 1 | Modelos matemáticos para analizar el vaciado de agua en una tubería simple

Caso No. 1 (tubería simple con extremo aguas arriba cerrado)	Caso No. 2 (tubería simple con una ventosa instalada en el extremo aguas arriba)
$\frac{dv_e}{dt} = \frac{(p_1^* - p_{am}^*)}{\rho_w L_e} + g \left(\frac{\Delta z_1}{L_e} \right) - f \frac{v_e v_e }{2D} - \frac{KgA^2 v_e v_e }{L_e}$	$\frac{dv_e}{dt} = \frac{(p_1^* - p_{am}^*)}{\rho_w L_e} + g \left(\frac{\Delta z_1}{L_e} \right) - f \frac{v_e v_e }{2D} - \frac{KgA^2 v_e v_e }{L_e}$
$\frac{dL_e}{dt} = -v_e$	$\frac{dL_e}{dt} = -v_e$
$p_1^* x^m = p_{1,0}^* x_0^m$	$\frac{dp_1^*}{dt} = -m \frac{p_1^*}{V_a} \frac{dV_a}{dt} + \frac{p_1^*}{V_a} \frac{m}{\rho_a} \frac{dm_a}{dt}$
	$\frac{d\rho_a}{dt} = \frac{(\rho_{aCN} v_{aCN} A_{adm} - v_e A \rho_a)}{A(L_T - L_e)} \quad v_{aCN} = \frac{C_{adm} \sqrt{(p_{am}^* - p_1^*) p_{am}^*}}{A_{adm}}$

En el presente trabajo se presenta el análisis de sensibilidad del modelo matemático antes mencionado para una tubería simple de longitud $L_T = 800$ m y con una diferencia de elevación $\Delta z_1 = 16$ m. Los parámetros iniciales que se consideraron se relacionan a continuación: factor de fricción $f = 0,018$; diámetro interior de la tubería $D = 0,30$ m; coeficiente politrópico $m = 1,2$; coeficiente de resistencia de válvula $K = 0,11$; longitud inicial de la bolsa de aire $x_0 = 250$ m; diámetro de ventosa = 50 mm; y coeficiente de admisión de aire en la ventosa $C_{adm} = 0,50$. La mayoría de estos parámetros han sido variados (Tabla 2) para realizar el análisis de sensibilidad correspondiente. En todos los casos analizados se ha considerado la presión atmosférica como la presión absoluta inicial en la bolsa de aire ($p_{1,0}^* = p_{am}^* = 10,33$ mca).

Para el Caso No. 1 se han calculado las tres variables hidráulicas (presión en la bolsa de aire, velocidad del agua y longitud de la columna de agua), mientras que para el Caso No. 2 se han evaluado las cinco variables (presión en la bolsa de aire, velocidad del agua, longitud de la columna de aire, caudal de aire que entra por la ventosa y densidad de la bolsa de aire) que intervienen en el proceso de vaciado de agua. En la Figura 1 se presenta un breve resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 2 | Rango de variación de los parámetros

Parámetro	Unidad	Rango	
		De	A
Diámetro interior de tubería	(m)	0,1	0,5
Factor de fricción	(-)	0,010	0,026
Pendiente longitudinal	%	5	30
Coefficiente politrópico	(-)	1,0	1,4
Diámetro de ventosa	(mm)	25	100
Longitud inicial de la bolsa de aire	(m)	50	450
Tiempo de apertura	(s)	0	300

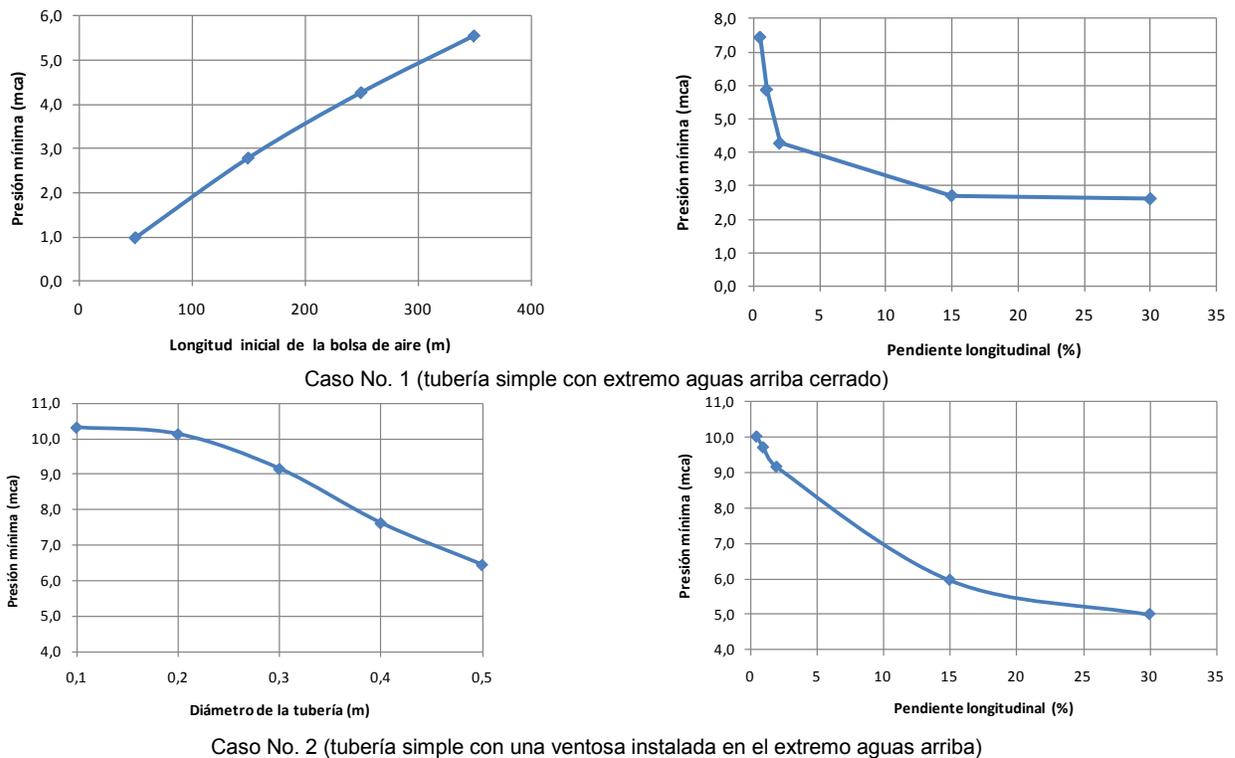


Figura 1 | Presión mínima en la bolsa de aire para algunos de los casos analizados

Analizando los resultados presentados en la Figura 1 puede deducirse que, en los procesos de vaciado de los sistemas de distribución de agua, las depresiones más importantes se presentan, cuando no existen ventosas instaladas (Caso No. 1). Obviamente, cuando no hay ventosas y no se permite la entrada de aire en el sistema, existirá mayor riesgo de colapso por depresión. Cuanto mayor sea la pendiente de la tubería y cuanto menor sea el tamaño de la bolsa de aire, mayores serán las depresiones que deberá soportar la tubería. Por otro lado, cuando se instalan ventosas y se permite la admisión de aire durante el vaciado (Caso No. 2) es muy importante seleccionar el tamaño adecuado de la ventosa para evitar depresiones importantes. El dimensionado de las ventosas dependerá principalmente de la pendiente longitudinal y del diámetro interior de la tubería. El resto de los parámetros (factor de fricción, coeficiente politrópico, tiempo de apertura, entre otros) no influyen de manera significativa en las depresiones que se alcanzan.

REFERENCIAS

- Fuertes-Miquel, V.S., Coronado-Hernández, O.E., Iglesias-Rey, P.L., Mora-Meliá, D. 2017. Transient phenomenon during the emptying process of a single pipe with water-air interaction. *Journal of Hydraulic Research* (*pendiente de publicación*).
- Coronado-Hernández, O.E., Fuertes-Miquel, V.S., Iglesias-Rey, P.L., Mora-Meliá, D. 2016. Análisis de los fenómenos transitorios generados durante el vaciado de agua en una tubería simple. IAHR - XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Septiembre 28-30. Lima, Perú.
- Coronado-Hernández, O.E., Fuertes-Miquel, V.S., Besharat, M., Ramos, H.M. 2017. Experimental and numerical analysis of a water emptying pipeline using different air valves. *Water* 2017, 9(2), 98. doi:10.3390/w9020098

Análisis de sensibilidad en la generación de sulfuros en redes de saneamiento. Caso de la ciudad de Murcia

Juan T. García^a, David Ruiz-Martínez^a, Antonio Viguera-Rodríguez^a, Luis G. Castillo^a, José M. Carrillo^a, Pedro D. Martínez Solano^b y Simón Nevado Santos^b

^a Grupo Hidr@m, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Cartagena, Paso Alfonso XIII, 52, 30203, Cartagena, España; juan.gbermejo@upct.es; davidruizmartinez@outlook.es; aviguera.rodriguez@upct.es; luis.castillo@upct.es; jose.carrillo@upct.es.

^b Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A., Plaza Circular 9, Murcia, España; pdmartinez@emuasa.es; snevado@emuasa.es.

Línea temática | Agua y Ciudad

RESUMEN

El ácido sulfhídrico, H_2S , es un gas que se genera en las aguas residuales debido a la reducción del sulfato a sulfuro, como consecuencia de la falta de oxígeno (condiciones anaerobias). Este gas tiene una baja solubilidad en el agua, y por efecto de la turbulencia, se libera a la atmósfera de las conducciones en concentraciones nocivas para las personas que trabajan en las redes de saneamiento. Además, provoca quejas por malos olores y favorece la corrosión de los colectores de hormigón por la formación de ácido sulfúrico. Conocer la concentración existente en las redes de saneamiento, así como su control, se ha convertido hoy en día en uno de las principales preocupaciones en la gestión de los sistemas de saneamiento.

Algunos de los principales factores que influyen en su formación son: - la temperatura ambiente; - el tiempo de retención hidráulica (TRH); - la carga orgánica transportada por el agua en tiempo seco (DQO); así como las condiciones hidráulicas de los caudales transportados.

Para predecir las concentraciones de sulfuros tanto disueltos como en la atmósfera del colector así como el oxígeno disuelto se emplean modelos de simulación de tipo determinístico, basados en las ecuaciones de balance de masas propuestas por los modelos de la IWA, como es el caso del modelo WATS (Hvitved-Jacobsen et al., 2013) que requieren el conocimiento de un elevado número de parámetros. Por otro lado los modelos empíricos, con un menor número de parámetros, plantean también un balance que se basa en diversos factores, como la carga contaminante y las condiciones hidráulicas de los caudales transportados, alcanzando una aproximación suficiente a los valores medidos en campo (Matos y De Sousa, 1992).

El sistema de saneamiento del término municipal de Murcia es unitario con una longitud aproximada de 715 km. La empresa Municipal de Agua y Saneamiento de Murcia opera dicha red, y para ello se apoya en un modelo hidráulico calibrado que permite la caracterización a lo largo del tiempo y para diversos caudales de la misma.

Durante el segundo semestre de 2016 se llevó a cabo una extensiva campaña de toma de muestras en diversos puntos de la red donde se caracterizaban los sulfuros disueltos en el agua residual, mediante kits colorimétricos, así como el sulfhídrico existente en la atmósfera del colector, mediante un medidor en continuo de sulfhídrico. A la vez, se colocaba una sonda multiparamétrica sumergida que permitía la medición de parámetros como: el oxígeno disuelto (OD), los sólidos totales disueltos (TDS), el potencial redox, el pH, la conductividad, y la temperatura del agua residual. La Figura 1 muestra las medidas puntuales de sulfuros disueltos y la medición en continuo del sulfhídrico en la atmósfera del colector llevada a cabo el día 21 de septiembre de 2016.

Ácido sulfhídrico (H_2S) pozos ID 27290 - 27291

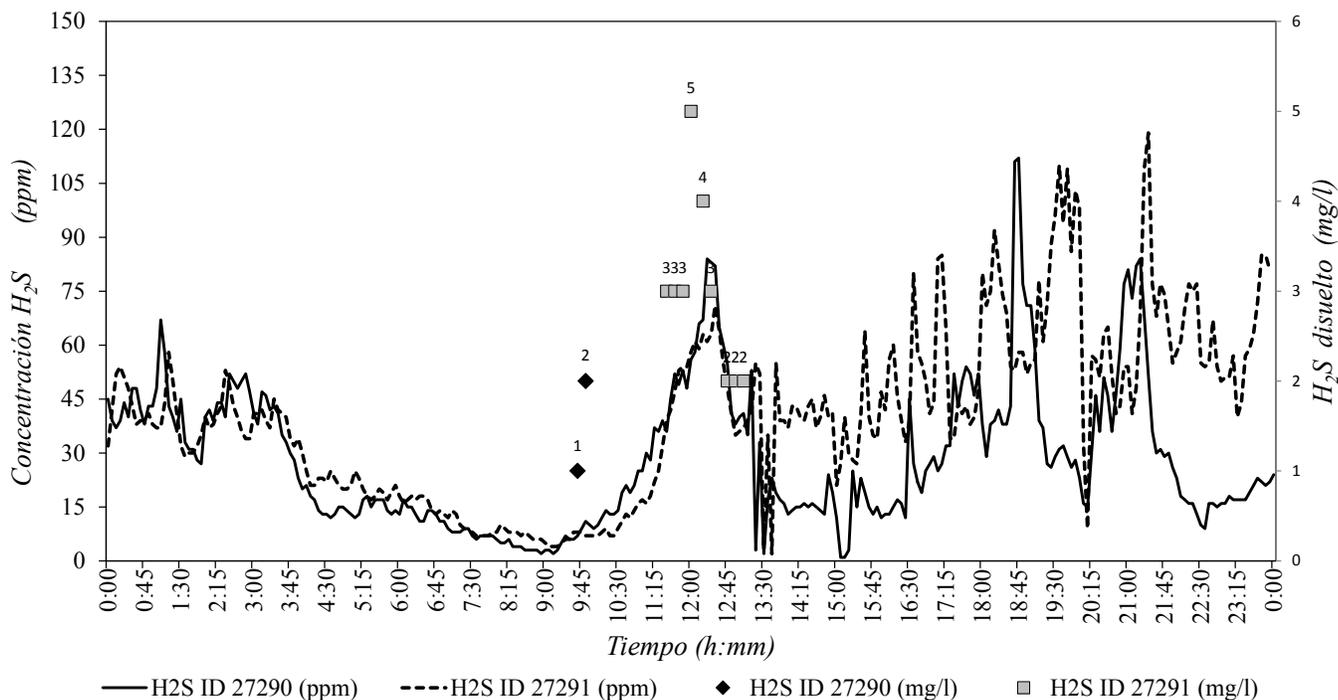


Figura 1 | Mediciones de sulfhídrico disuelto y en atmósfera en los pozos 27209 y 27291 el día 21/09/2016.

A partir de las medidas puntuales, en el presente trabajo se comprueba el ajuste entre los valores medidos, y los propuestos por diversos modelos empíricos como el presentado por Matos y De Sousa (1992). Para ello también se hace uso de los resultados obtenidos en el modelo hidráulico calibrado. A continuación se realiza un análisis estadístico de componentes principales (ACP) para trazar el grado de correlación entre los diferentes factores medidos seleccionando los que presentan una mayor correlación. A partir de dichos factores se calculan diversos índices que muestran la sensibilidad del proceso de generación de sulfuros respecto a éstos (Hall et al., 2009). Esto permite proponer un modelo empírico ajustado a las condiciones observadas en la ciudad de Murcia.

REFERENCIAS

- Hvitved-Jacobsen, T.; Vollertsen, J.; Nielsen, A.H. Sewer Processes: Microbial and Chemical Process Engineering of Sewer Networks; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2013.
- Matos, J. S., and De Sousa, E. R. (1992). The forecasting of hydrogen sulphide gas build-up in sewerage collection systems. *Water Science and Technology*, 26(3-4), 915-922.
- Hall, J. W., Boyce, S. A., Wang, Y., Dawson, R. J., Tarantola, S., & Saltelli, A. (2009). Sensitivity analysis for hydraulic models. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(11), 959-969.

Dos Casos Prácticos Para La Aplicación De Mejoras En Una Gestión Del Saneamiento Urbano

López, F.J.^{a1}, López, M.^{a2}, Puente, A.^{a3}.

^{a1}Espina Obras Hidráulicas S.A. e-mail: flopez@espina.es.

^{a2}Espina Obras Hidráulicas S.A. e-mail: mlopez@espina.es.

^{a3}Espina Obras Hidráulicas S.A. e-mail: apuente@espina.es.

Línea temática | Agua y Ciudad.

RESUMEN

1. EQUIPO COMPACTO PARA CONTROL Y MUESTREO DE VERTIDOS

Con esta propuesta se ha desarrollado una herramienta compacta de control y muestreo de vertidos de procedencia industrial que no cumplen con los criterios mínimos para vertido a la red de saneamiento.

Esta herramienta es muy útil para mejorar la vigilancia de estos vertidos ilegales, además de obtener evidencias de los mismos que faciliten la lucha contra los vertidos ilegales y por ende la reducción de la ocurrencia de los mismos en la red de saneamiento. Tendrá especial importancia la toma de muestras de un vertido, ya que facilita el cumplimiento del régimen sancionador, al contrario que la medición de un parámetro (temperatura, caudal, conductividad, etc.).

Las dimensiones aproximadas del equipo compacto para control y muestreo de vertidos son 40 x 25 x 60 cm (largo x ancho x alto), ya que ha sido diseñado para poder ser introducido en el interior de un pozo de registro convencional.

Los componentes principales del equipo compacto de control y muestreo de vertidos son los siguientes:

- Sonda de pH/temperatura
- Sonda de conductividad
- Controlador para sondas
- Procesador-Modem GSM
- Bomba peristáltica tomamuestras
- Botella almacenamiento muestra
- Batería alimentación 12 Vcc

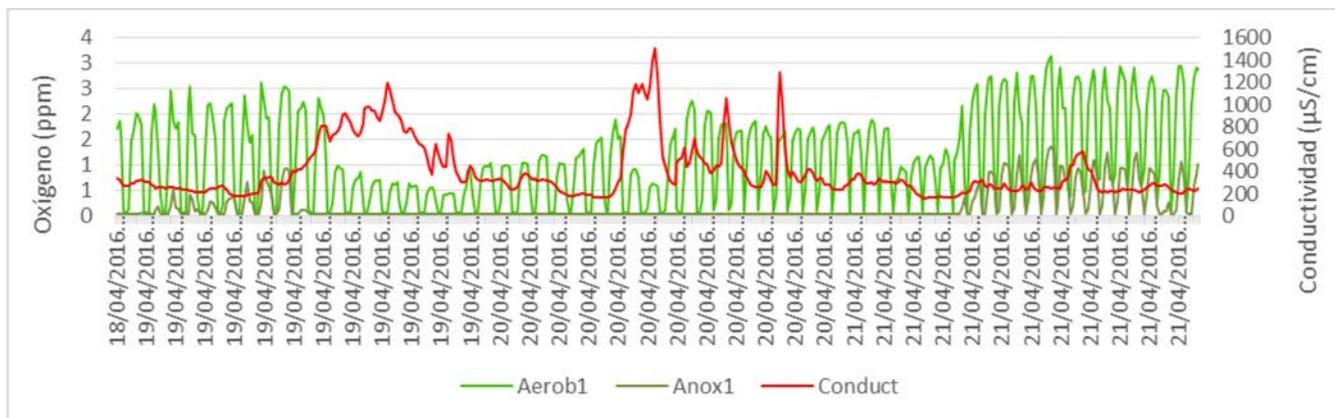


Figura 1 | Caracterización vertidos industriales. Identificación mediante variación valores conductividad

2. SISTEMA DE ACCESO A EQUIPOS SUMERGIDOS

Con este proyecto se ha desarrollado un procedimiento para permitir un fácil acceso a los equipos de instalación fija sumergidos, que suelen estar instalados en balsas, depósitos y cualquier otra estructura que sirva para contener agua de cualquier familia (residual, potable, etc).

También se han diseñado, construido y se mantienen en estado operativo los equipos necesarios para este tipo de actuaciones. Se busca además estandarizar el diseño para dar cobertura a la mayor cantidad posible de equipos sumergidos que se encuentran en situación de difícil acceso.

Al mismo tiempo se ha definido un protocolo de actuación para este tipo de intervenciones dirigido a operarios que las llevarán a cabo.

Las ventajas de este sistema, fundamentalmente, son medioambientales y económicas, al no ser necesario parar ni vaciar las instalaciones donde se encuentran instalados los equipos para poder realizar las operaciones de reparación y mantenimiento.

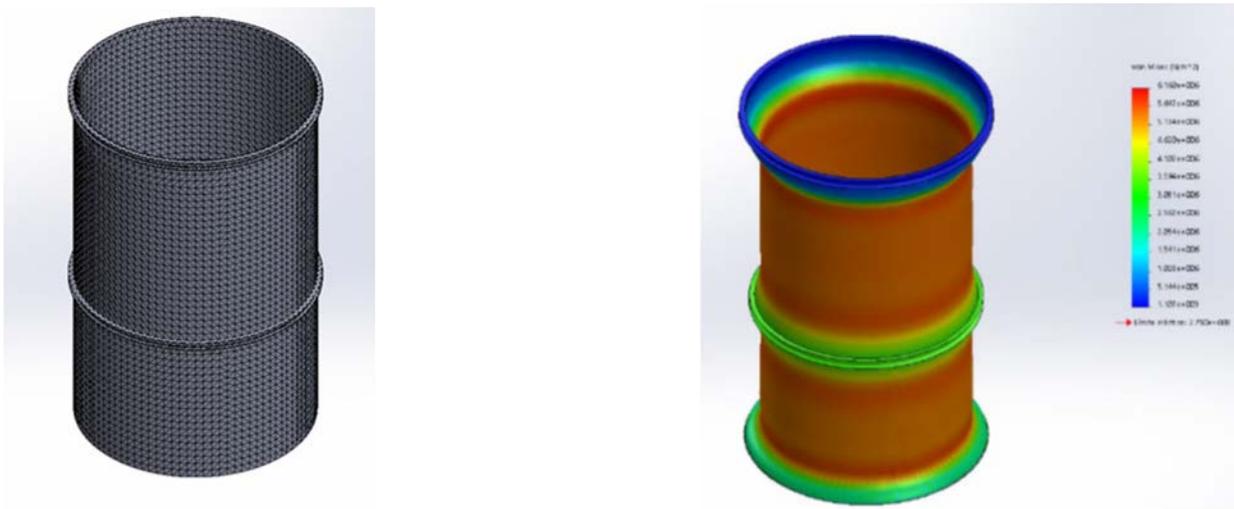


Figura 2 | Campana de acceso a equipos sumergidos. Campana en proceso de posicionamiento. Cálculo resistencia estructural mediante elementos finitos.

La resiliencia de Barcelona frente al cambio climático: el Proyecto RESCCUE

Malgrat, P.^a, Martínez-Gomariz, E.^b, Russo, B.^{a,c}, Vela, S.^b, Velasco, M.^a, Gabàs, A.^d, Marin, D.^b

^aAQUATEC (SUEZ Advanced Solutions). Paseo de la Zona Franca, 46-48, 08038, Barcelona, España, ^bCentro Tecnológico del agua (CETAqua). Carretera d'Esplugues, 75, 08940, Cornellà del Llobregat, Barcelona, España, ^cGrupo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA), Escuela Politécnica de La Almunia (EUPLA), Universidad de Zaragoza. C/ Mayor s/n, 50100, La Almunia, Zaragoza, España, ^dGerència Adjunta de Mobilitat i Infraestructures, Ecología Urbana, Ajuntament de Barcelona, España. E-mail: ^{a1}pmalgratb@aquatec.es, ^{b1}eduardo.martinez@cetaqua.com, ^{a2}cbrusso@aquatec.es, ^{b2}svela@cetaqua.com, ^{a3}marc.velasco@suez.com, ^dagabasm@bcn.cat., ^{b3}dmarin@cetaqua.com

Línea temática | Agua y Ciudad.

RESUMEN

El ser humano vive en un mundo principalmente urbano y el crecimiento de las ciudades se prevé ascendente en el futuro. Hoy en día el 54% de la población vive en zonas urbanas y se espera que para el año 2050 ese porcentaje ascienda al 66%. Además, el cambio climático causará presiones e incertidumbres e impactos sobre el medio, afectando a las actividades que las personas desarrollan diariamente en las ciudades. Los servicios urbanos, tales como abastecimiento de agua o suministro de energía, se verán afectados y por tanto también la capacidad de las ciudades para albergar dichas actividades humanas. La apropiada gestión de las ciudades ha sido uno de los desafíos del siglo XXI, a cuya dificultad se deben añadir las consecuencias de los impactos derivados del cambio climático. En este contexto, el proyecto RESCCUE (RESilience to cope with Climate Change in Urban arEas - a multisectorial approach focusing on water) pretende ofrecer soluciones para las ciudades del siglo XXI para ser más resilientes frente a los desafíos físicos, sociales y económicos venideros.

El proyecto RESCCUE se enmarca en el programa de financiación europea de proyectos Horizonte 2020 y tiene como principal objetivo la evaluación, planificación y gestión de la resiliencia de las ciudades. Para lograr el objetivo establecido, se propone, por un lado, el uso de nuevas metodologías y herramientas para elaborar modelos sectoriales capaces de analizar, con detalle, la resiliencia de los diferentes servicios urbanos y, por tanto, una plataforma de resiliencia más transversal, HAZUR, que abarque los diferentes servicios urbanos en una visión más holística del problema. Estas herramientas evaluarán la resiliencia, para las situaciones climáticas actuales y para diferentes escenarios de cambio climático. Este planteamiento tendrá como objetivo de análisis 3 ciudades europeas, Barcelona, Lisboa y Bristol, permitiéndose así la implementación de las metodologías y herramientas propuestas en ámbitos con características y respuestas diferentes. El proyecto RESCCUE proporcionará para el desarrollo de Planes de Acción de Resiliencia de ciudades metodologías y herramientas innovadoras y a la vez resultados de análisis de impactos de las diferentes amenazas climáticas analizadas. El enfoque multisectorial al concepto de resiliencia que se abordará en el proyecto RESCCUE supone la mayor de sus innovaciones. El enfoque del proyecto, centrado en el sector del agua, se adoptó debido a la importancia de los riesgos asociados a este recurso en las ciudades y de la diversidad y cantidad de datos que se gestionan en la actividad diaria de este sector.

Algunas de las consecuencias frente a la amenaza del cambio climático que se prevén son, entre otros impactos, el aumento del riesgo de inundación, la escasez de agua y las olas de calor. Frente a estas amenazas y riesgo potenciales derivados de la estimación de previsiones climáticas a medio y corto plazo (WP1), el proyecto RESCCUE propone una metodología basada en un análisis sectorial de la resiliencia de algunos servicios urbanos de la ciudad para los cuales se evaluará la peligrosidad (WP2), vulnerabilidad y riesgo (WP3) y se propondrán estrategias y medidas de adaptación (WP5). Paralelamente, a través de un enfoque más holístico, se analizarán las interdependencias entre los servicios urbanos y sus infraestructuras críticas en caso de situaciones de crisis generadas por eventos climáticos extremos (WP4). Todo este conocimiento confluirá en el Plan de Acción de Resiliencia de la ciudad de Barcelona, así como en manuales y guías de buenas prácticas que serán disponibles para otras ciudades (WP6).

En concreto para el caso de estudio de Barcelona se contempla el desarrollo y mejora en los modelos sectoriales de la ciudad bajo diferentes escenarios climáticos en los ámbitos de alcantarillado, calidad del agua de baño, abastecimiento de agua potable, suministro energético y tráfico.

Por otro lado, en los últimos años el Ayuntamiento de Barcelona ha estado trabajando en el desarrollo de un plan de resiliencia para la ciudad. En el año 2014, como primera etapa, se publicó el documento “Barcelona ciutat resilient al canvi climàtic” (Ventayol, 2014) en el que se recogen los diferentes impactos a los que la ciudad se enfrenta debido al cambio climático.

El mismo 2014, también se publicó el documento “Anàlisi dels plans d’adaptació al canvi climàtic” (Calvet et al., 2014). En este informe, se profundiza en los impactos, retos y posibles estrategias de adaptación al cambio climático para la ciudad de Barcelona, a través de un benchmarking de planes de adaptación de otras ciudades. Se proporcionan recomendaciones y consejos útiles, siendo ésta una base sólida para poder elaborar el plan de resiliencia de Barcelona. La alta concentración de personas, estructuras, infraestructuras, servicios y actividades que se desarrollan en las ciudades son algunos de los factores que se valoran en cuanto a la vulnerabilidad de la ciudad. La particularidad de Barcelona deriva de su localización, puesto que al ser una ciudad costera mediterránea, se ve afectada esencialmente por inundaciones, sequías y olas de calor (factores considerados en el proyecto RESCCUE). Como parte del proceso de elaboración del Plan de Resiliencia se está llevando a cabo un análisis de vulnerabilidades, con el objetivo mejorar el conocimiento sobre cómo puede verse afectada por los posibles riesgos derivados del cambio climático. Concretamente, se está analizando el efecto de los cambios de temperatura y régimen pluviométrico proyectados según los escenarios de futuro del IPCC.

Se destacan, como elementos especialmente sensibles al cambio climático, el efecto del aumento de las temperaturas diurnas y nocturnas sobre la población más vulnerable y la salud pública, así como sobre la demanda energética para garantizar condiciones de confort térmico en viviendas y puestos de trabajo, el mayor riesgo de inundación (especialmente en el delta del Llobregat), posibles efectos sobre la actividad portuaria, las playas y las infraestructuras situadas en el litoral debidos a intensificación de temporales y por posible subida del nivel del mar aumento del estrés hídrico entre 20 y 40% a causa de una menor precipitación total y mayores temperaturas acompañado de un posible aumento de la demanda de agua. Paralelamente, se ha llevado a cabo una diagnosis del estado de la cuestión en relación a medidas de resiliencia y adaptación que, se están actualmente implementado o proyectando a través de políticas urbanas y planeamiento sectorial estratégico.

Por lo tanto, en el plan de resiliencia se prevé la definición de nuevas medidas para asegurar la adaptación de las e infraestructuras y servicios de la ciudad ante estos nuevos escenarios de futuro. En la adaptación al cambio el desarrollo urbanístico en sinergia con los recursos naturales y la infraestructura verde, así como la información a los ciudadanos son aspectos fundamentales. Dicho plan prevé un horizonte temporal a 2050, e incorporará medidas a implementar a corto, medio y largo plazo para alcanzar los objetivos estratégicos de resiliencia y adaptación definidos. Tanto para su elaboración, como para su implementación y seguimiento es necesaria la colaboración de técnicos, expertos, profesionales, instituciones y empresas.

Son, por tanto, claras las sinergias entre el desarrollo del plan de resiliencia por parte del Ayuntamiento de Barcelona y los objetivos del proyecto RESCCUE para el caso de estudio de la ciudad de Barcelona. La aplicación del Proyecto en la ciudad partirá del desarrollo ya realizado por el Ayuntamiento de Barcelona, y aquellos avances, metodologías y herramientas desarrolladas en el marco del Proyecto serán aplicados en al plan de resiliencia actualmente en desarrollo.

En definitiva, Barcelona se encuentra en una situación inmejorable en cuanto a la aportación de recursos para el objetivo final de ser una ciudad resiliente al cambio climático.

REFERENCIAS

- Calvet, M., Biosca, O., Ulied, A. 2014. Anàlisi dels plans d’adaptació al canvi climàtic. Avanç d’impactes, reptes i possibles estratègies d’adaptació al canvi climàtic a Barcelona. Ajuntament de Barcelona, España.
- Ventanyol, I. 2014. Barcelona, ciutat resilient al canvi climàtic. Ajuntament de Barcelona, España.

Guía sobre la reducción de la vulnerabilidad de edificios frente a las inundaciones

Martínez, F.J.^{a1}, Nájera, A.^{b1}, Espejo, F.^{b2}, Cordero, S.^{c1}, González, S.^{c2} y Martínez, E.^{c3}

^a Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico, MAPAMA, ^b Subdirección de Estudios y Relaciones Internacionales del Consorcio de Compensación de Seguros, Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, ^c Departamento de Hidrología e Hidráulica de INCLAM. E-mail: ^{a1} fsmartinez@magrama.es, ^{b1} anajera@consorseguros.es, ^{b2} fespejo@consorseguros.es ^{c1} silvia.cordero@inclam.com, ^{c2} sonsoles.gonzalez@inclam.com y ^{c3} elena.martinez@inclam.com.

Línea temática | Agua y Ciudad.

RESUMEN

El 15 de enero de 2016 se aprobaron la mayoría de los Planes de Gestión de Riesgo de Inundación presentados por las Demarcaciones Hidrográficas como cumplimiento del El Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de las inundaciones, trasposición a la legislación española de la Directiva Europea 2007/60 CE.

En su introducción el R. D. destaca la importancia de la colaboración entre las distintas administraciones y la sociedad para reducir las consecuencias negativas de las inundaciones, en particular uno de los objetivos específicos de los Planes de Gestión del Riesgo es “Mejorar la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad de los elementos ubicados en las zonas inundables”. Con fecha 1 de junio de 2016, se firma el convenio de colaboración entre la Dirección General del Agua y el Consorcio de Compensación de Seguros para el desarrollo de medidas de prevención y mitigación del riesgo de inundación incluidas en los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación.

Una de estas medidas consiste en la elaboración de una “Guía sobre la reducción de la vulnerabilidad de edificios frente a las inundaciones”. El objetivo final de la guía es aumentar la comprensión de las consecuencias de las inundaciones y fomentar el compromiso de los ciudadanos en la reducción del riesgo, centrándose en la disminución de la vulnerabilidad de personas y bienes y el aumento de la resiliencia de edificios expuestos.

Con la guía se ofrece una herramienta para materializar dicha reducción del riesgo a través de pautas y recomendaciones con el fin de minimizar las pérdidas ocasionadas por las inundaciones. En definitiva, los objetivos parciales son:

1. Identificar y recordar las responsabilidades del propietario, concienciar de la necesaria convivencia con las inundaciones y la necesidad de mitigar los efectos de las inundaciones entre todos.
2. Identificar el riesgo de inundación que estamos asumiendo y realizar el diagnóstico del edificio.
3. Identificar posibles acciones para protegerse de una inundación. Reducir los daños en: personas y bienes, edificios, equipamientos y servicios. Decidir cuál es el método más adecuado para protegerse de una inundación.
4. Identificar posibles acciones para recuperarse de una inundación y resaltar la importancia de disponer de una póliza de seguro. Conocer los sistemas de indemnizaciones, ayudas económicas, subvenciones y otras medidas de recuperación: CCS, Ministerio del Interior.

Para su elaboración y redacción se han recopilado guías similares publicadas en Francia, Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Australia, etc. junto a otros trabajos de investigación (IGME, 7º Programa Marco). Tras un análisis de los contenidos de los mismos se concluyó que todas las guías tenían un alcance parcial, en fondo y forma, si se pretendía cumplir con los objetivos establecidos.

Una vez identificadas las 3 dimensiones de la vulnerabilidad en un edificio, que son: la seguridad de las personas y sus bienes, incluyendo el tiempo de vuelta a la normalidad; la seguridad del edificio, tanto del continente (estructura y equipamientos y servicios) como del contenido, y los efectos dominó que se puedan generar en el entorno inmediato, se planteó la estructura de la Guía como respuesta a un problema tridimensional.

La guía se desarrolla, por tanto en seis bloques temáticos bien diferenciados:

BLOQUE 1: se ofrece al usuario una visión general de la guía y de los conceptos esenciales.

BLOQUE 2: se proporcionan las herramientas principales para saber si un edificio puede estar afectado por una inundación.

BLOQUE 3: se aborda el diagnóstico del problema. Se orienta al usuario sobre las causas y efectos de la entrada de agua en el edificio y los posibles daños que pueden ocasionar las inundaciones en una vivienda, comercio, servicio o equipamiento.

BLOQUE 4: se aportan posibles soluciones y medidas. Se muestra al usuario cómo mitigar los posibles daños, cuáles son los métodos más adecuados y, finalmente, cómo planificar una estrategia para estar preparado, adaptado y con capacidad de reacción y de recuperación ante un evento.

BLOQUE 5: se centra en la fase de la emergencia. Por un lado, se guía al usuario para conocer las reglas básicas de actuación en las tres fases de la emergencia: antes, durante y después de la inundación y, en segundo lugar, se le orienta en los pasos a dar en la fase de recuperación y cómo acceder a las indemnizaciones del Consorcio de Compensación de Seguros o ser beneficiario del sistema de ayudas y subvenciones del Estado.

BLOQUE 6: se exponen los estudios de dos casos prácticos.

Como complemento, los bloques temáticos se acompañan de los siguientes apéndices: (i) Catálogo de medidas, (ii) Ejemplo práctico de plan de acción y valoración económica, (iii) Información sobre materiales de construcción, y (iv) Planificación estratégica: organización y preparación e instrumento de autoevaluación para la elaboración de Planes de Autoprotección.

Como conclusión, la Guía pretende conseguir una mayor CONCIENCIACIÓN del riesgo y sus consecuencias, una asunción de la RESPONSABILIDAD y un CONOCIMIENTO del tipo de medidas que se pueden acometer. Para su difusión se está presentando en una serie de Jornadas Técnicas bajo el título de “Aspectos clave en la reducción del riesgo de inundación” dirigidas principalmente a los técnicos implicados en la gestión del riesgo de inundación, suscitando gran interés. Con todo ello se espera fomentar y construir entre todos una sociedad resiliente frente a los impactos causados por las inundaciones, fluviales y costeras.

REFERENCIAS

FEMA, 2014. *Homeowner's Guide to Retrofitting. Six Ways to Protect Your Home From Flooding*, USA

CEPRI, 2010. *Le bâtiment face à l'inondation. Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité*, France

CIRIA, 2007. *Improving the flood performance of new buildings. Flood resilient construction*, UK

Office of the Deputy Prime Minister, 2001. *Preparing for floods. Interim guidance for improving the flood resistance of domestic and small business properties*, UK

Modelación eficiente de suministros de agua con aljibes domiciliarios mediante EPANET. De su necesidad a su erradicación.

Martinez Alzamora, F.^a, Kesteloot, D.^b, Vegas Niño, O.T.^c, Jiménez-Bello, M.A.^d

^a Catedrático de Universidad. E-mail: fmartine@hma.upv.es

^b Estudiante Master Ingeniería Hidráulica. Dep. Ingeniería Hidráulica. E-mail: diego1993.k@gmail.com

^c Estudiante de doctorado. E-mail: ovegas@hma.upv.es

^d Profesor Ayudante Doctor. E-mail: mijibar@dihma@upv.es.

^{a, c, d} Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n 46022, Valencia, España.

Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

Introducción

En los últimos años, los modelos hidráulicos utilizados para simular el comportamiento real de las redes de distribución de agua han pasado de considerar las demandas fijas en los nudos a tratarlas como dependientes de la presión, al objeto de mostrar el comportamiento real del sistema en condiciones de insuficiencia de presión (Conejos, 2015). Gracias a ello es posible simular de modo realista el efecto de una rotura, el comportamiento de la red en situaciones de emergencia, o el efecto sobre las fugas y las demandas de una reducción de la presión de suministro o de un valor excesivo de la misma.

Sin embargo, muchas redes de abastecimiento de nuestro país, y sobre todo de países en vías de desarrollo de Latinoamérica, Oriente medio, Asia o Norte de África, no disponen de un suministro directo a los usuarios, sino que el agua es descargada a pequeños depósitos domiciliarios que actúan como reservas locales de agua. Estos pueden ubicarse en el tejado de las viviendas, desde donde el agua se distribuye al interior de las mismas por gravedad, o a nivel de suelo, desde donde el agua se rebombea a su vez a los tanques elevados o se distribuye directamente a las viviendas de un inmueble. El suministro a través de tanques o aljibes es una fuente potencial de contaminación del agua, además de mostrar otros graves inconvenientes (Cobacho, 2008; Gómez, 2013) por lo que en un suministro moderno esta práctica debería erradicarse. Sin embargo las deficientes condiciones que a menudo afectan a las redes de suministro, tales como diámetros insuficientes para atender los incrementos de demanda, el deterioro de las tuberías, el exceso de fugas, las continuas averías que afectan al servicio, etc, conducen a los usuarios a equiparse con tanques y aljibes, a fin de garantizarse el suministro de un bien tan esencial. Cuando las condiciones de insuficiencia de la red empeoran drásticamente, la última solución es recurrir al consumo intermitente por sectores, lo que finalmente lleva a los usuarios a incrementar aún más las reservas de agua a nivel domiciliario.

Los suministros a través de aljibes son intrínsecamente dependientes de la presión, ya que el caudal de entrada al aljibe depende de la diferencia entre la presión de suministro y la cota de éste; en cambio, el caudal consumido puede considerarse independiente de la presión de suministro, al romperse la carga de la red en el depósito. En consecuencia, la curva de demanda de los usuarios no puede trasladarse directamente a la red de suministro suponiendo una demanda fija en la acometida, como se hace en los modelos tradicionales. Desde el punto de vista de la red, el caudal suministrado depende de la presión de suministro, y del estado de llenado del aljibe en cada momento. El resultado final es una laminación de la curva de demanda exigida a la red de suministro, - tanto más cuanto mayor sea la capacidad de los aljibes domiciliarios -, en comparación con la curva que se le exigiría en caso de un suministro directo.

Metodología

Para determinar el efecto de laminación introducido por los aljibes, o los retos a los que la compañía suministradora debe enfrentarse de cara a su erradicación (Ilaya, 2010), hay que modelar correctamente el comportamiento de éstos e integrarlos en el modelo hidráulico global de la red de distribución. EPANET (Rossman, 2000) es el software de simulación actualmente

utilizado por excelencia por la mayoría de los técnicos y gestores de las redes urbanas. Sin embargo, modelar todos los modos de comportamiento de los aljibes con esta herramienta no resulta sencillo (Pacchin, 2016). En particular, los aljibes suelen estar equipados con una válvula de flotador, que limita el caudal entrante a medida que se van llenando en la última etapa. Algunos pueden equiparse con una válvula de altitud, cuyo estado de apertura y cierre se controla en función del nivel en el aljibe. Cuando el aljibe está lleno, el caudal de entrada pasa a igualarse con el caudal demandado, mientras que si se vacía el caudal consumido queda limitado por el caudal entrante. Además, el comportamiento en estas dos situaciones extremas depende de si el aljibe está conectado a la instalación interior en serie o en derivación. Por otra parte, durante el llenado la descarga al aljibe puede hacerse desde la parte superior, desde el fondo o a través de una conducción parcialmente sumergida. Si la válvula de flotador fallara, el agua entrante y no consumida desbordaría por el rebosadosero. Por otra parte, si se dispone de grupos hidropresores para llenar el aljibe o para alimentar las viviendas cuando el aljibe se ubica en el sótano, habrá que modelar también el comportamiento de los calderines hidroneumáticos que controlan el arranque y paro de las bombas. Toda esta casuística debe tenerse en cuenta a la hora de modelar correctamente el comportamiento de los aljibes en un modelo hidráulico de la red, lo que no resulta sencillo. En la primera parte de la ponencia se mostrará como representar de forma adecuada y lo más simple posible todas estas situaciones, utilizando los 6 elementos básicos de que dispone EPANET para modelar cualquier red a presión (Kesteloot, 2017).

Resultados

En la segunda parte de la comunicación, se integrarán estos componentes en una red de cierto tamaño, y se mostrará desde el punto de vista hidráulico el papel que desempeñan los aljibes a la hora de garantizar la demanda a los usuarios a medida que la red se va deteriorando, y cómo ello influye en la laminación de la curva de demanda. En última instancia se simulará un caso de suministro intermitente y el efecto que tendría estrangular los depósitos reguladores a la salida para reducir aún más la demanda. A partir de aquí, mediante un proceso inverso se mostrarán los pasos a seguir para recuperar la presión en la red y erradicar paulatinamente los aljibes de la misma hasta conseguir dar de nuevo un servicio directo a todos los usuarios. Los modelos clásicos de demandas dependientes de la presión serán finalmente aplicables solo para aquellos usuarios que dispongan de conexión directa a la red, una vez erradicados los aljibes.

REFERENCIAS

- Cobacho R., Arregui F., Cabrera E., Cabrera E. Jr. (2008). Private water storage tanks: evaluating their inefficiencies, *Journal Water Practice and Technology*, IWA Publishing. May 2008 | doi:10.2166/wpt.2008.025
- Conejos, Pilar (2015). Desarrollo e implementación de un modelo realista de demandas y fugas dependientes de la presión para redes de distribución de agua urbana. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València
- Kesteloot, Diego (2017). *Variación del consumo doméstico de agua con la presión en un suministro con aljibes*. Trabajo Fin de Master. Master en Ingeniería Hidráulica y M. A. Universitat Politècnica de València
- Gómez Sellés, E., Cabrera Marcet, E., J. Soriano Olivares, J., M. Balaguer Garrigós, J.M. (2013) Gestión sostenible del agua y usos de aljibes domésticos, un binomio incompatible. *IV Jornadas Ingeniería del Agua, JIA 2015*, 21-22 Octubre, Córdoba
- Ilaya Ayza, A.E. (2016) Propuesta para la transición de un sistema con suministro de agua intermitente a suministro continuo. Tesis doctoral. Univ. Politècnica de València
- Pacchin, E., Alvisi, S., Franchini, M. (2016). A new non-iterative method for pressure-driven snapshot simulations with EPANET. *Int. Conf. on Water Distribution Systems Analysis WDSA 2016*. Cartagena de Indias (Colombia)
- Rossman, L. A. (2000). EPANET 2: users manual. Cincinnati US Environmental Protection Agency National Risk Management Research Laboratory, 38(September), 2000.

Análisis de la eficiencia de un equipo de impulsión en una red de abastecimiento urbano

María del Pilar Martínez García^a, Angel Martínez Romero^b y Juan Ignacio Corcoles Tendero^c

^aEscuela de Ingenieros Industriales de Albacete, Campus Universitario s/n 02071, Albacete, España, mpilar.martinez2@alu.uclm.es, ^bEscuela de Ingenieros Industriales de Albacete, Campus Universitario s/n 02071, Albacete, España, angel.mromero@uclm.es y ^cEscuela de Ingenieros Industriales de Albacete, Campus Universitario s/n 02071, Albacete, España, juanignacio.corcoles@uclm.es.

Línea temática | C. Agua y ciudad

RESUMEN

Según la Directiva Marco del Agua (DMA)(DOUE, 2000) el agua se considera como un patrimonio que hay que defender y tratar como tal. En este sentido, el agua se puede considerar un recurso escaso y un factor limitante para el desarrollo en diversos ámbitos en numerosas zonas, principalmente en aquellas pertenecientes a regiones áridas y semiáridas. En España este aspecto es relevante, principalmente relacionado con la escasez de precipitaciones en muchas regiones, lo que establece la necesidad de optimizar el uso de los recursos hídricos. Asimismo, ligado al consumo de agua, el gasto de energía es un aspecto fundamental, sobre todo en redes colectivas de abastecimiento donde su fuente principal de agua sean los recursos hídricos subterráneos (Córcoles et al., 2010), lo que hace imprescindible realizar un uso eficiente de los recursos hídricos y energéticos.

El presente trabajo se centra en una red colectiva de abastecimiento urbano en una zona ubicada en la provincia de Albacete. Esta red permite el suministro de agua a una población de, aproximadamente, 2400 habitantes (INE, 2015). La red de estudio dispone de un depósito de almacenamiento de agua, que permite el abastecimiento a la población por gravedad. Este depósito es alimentado por un sondeo dotado de una electrobomba sumergida de 66 kW. La información relativa a trazado y dimensionado de tuberías ha sido proporcionado por los gestores de la red, completada con visita a instalaciones y toma de datos en campo.

En este estudio se realiza el análisis de la eficiencia energética y del funcionamiento de la bomba sumergida. Para ello, se han medido tanto parámetros hidráulicos como eléctricos de la instalación. Para el registro de los parámetros hidráulicos se efectuaron medidas del caudal impulsado por la bomba utilizando un caudalímetro de ultrasonidos (PANAMETRICS®, Waltham, MA, USA), cuya instalación se ha realizado a la salida de la boca del pozo, lo más alejado posible de elementos singulares en la tubería, para conseguir el mayor nivel de precisión de medida posible. Asimismo, se determinó la profundidad del agua, utilizando una sonda de nivel de tipo eléctrica de contacto (Seba Hydrometrie, Kaufbeuren, Germany). La medida de parámetros eléctricos se realizó con un analizador de redes eléctricas portátil tipo AR5 (Circutor, Barcelona, España), registrando los principales parámetros como la tensión, intensidad, potencia activa, reactiva y aparente, frecuencia o factor de potencia, entre otros. Las medidas de intensidad se realizaron con pinzas amperimétricas tipo CPR-500 (Circutor, Barcelona, España).

Con la utilización de la herramienta Análisis de Sondeos (AS)(Moreno et al., 2010) y a partir de los parámetros hidráulicos y eléctricos registrados, se ha determinado el rendimiento real de la bomba, considerando el rendimiento del motor y las pérdidas eléctricas producidas por el cableado, comparando estos resultados con el rendimiento teórico de la bomba obtenido del catálogo del fabricante.

En relación a las medidas registradas en el sondeo en la época de máxima demanda de agua en la red, el rendimiento total ($\eta_t = 53,5\%$) medido presenta un valor no muy elevado, posiblemente condicionado por el desgaste sufrido por el equipo dada su antigüedad.

A partir de los datos proporcionados por los gestores de la sociedad, se ha determinado el volumen medio de agua consumido en la red, realizando una comparativa del gasto energético que supondría el uso de la bomba en su situación actual en comparación con el caso en el que el rendimiento de la instalación se aproxime al teórico de la misma. Los primeros

resultados muestran un ahorro energético aproximado del 18% en comparación con el estado actual del equipo de bombeo, aspecto que establece la necesidad de una mejora en el funcionamiento de la instalación.

La metodología planteada en este trabajo puede servir de apoyo a la caracterización del funcionamiento de equipos de impulsión, permitiendo analizar también el ahorro económico que supondría la mejora en los equipos en función de las horas de llenado del depósito, y analizando distintos escenarios de funcionamiento de la bomba en función de la tarifa horaria contratada. La utilización de este tipo de herramientas es un aspecto fundamental en algunas instalaciones de redes urbanas, y repercute en el funcionamiento de la instalación, los costes de explotación y en la gestión de los recursos hídricos y energéticos en la red.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) dentro del proyecto AGL2014-59747-C2-1-R(co-financiado por fondos FEDER). Los autores manifiestan su agradecimiento a los gestores de la zona de estudio por su colaboración.

REFERENCIAS

- Córcoles, J.I., de Juan, J.A., Ortega, J.F., Tarjuelo, J.M., Moreno, M.A. 2010. Management evaluation of Water Users Associations using benchmarking techniques. *Agricultural Water Management* 98, 1-11.
- DOUE, 2000. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Unión Europea nº L 327, Bruselas, Bélgica.
- INE, 2015. Instituto Nacional de Estadística de España. www.ine.es
- Moreno, M.A., Ortega, J.F., Córcoles, J.I., Martínez, M.A., Tarjuelo, J.M. 2010. Energy analysis of irrigation delivery systems: monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy efficiency. *Irrigation Science* 28, 445-460.

Metodología para la evaluación de daños a vehículos expuestos a inundaciones en zonas urbanas

Martínez-Gomariz, E.^a, Gómez, M.^b, Russo, B.^{c,d}, Sánchez, P.^c, Montes, J.^e

^a Centro Tecnológico del agua (CETAqua). Carretera d'Esplugues, 75, 08940, Cornellà del Llobregat, Barcelona, España, ^b Institut FLUMEN, Universitat Politècnica de Catalunya. Calle del Gran Capità, 6, 08034, Barcelona, España, ^c AQUATEC (SUEZ Advanced Solutions). Paseo de la Zona Franca, 46-48, 08038, Barcelona, España, ^d Grupo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA), Escuela Politécnica de La Almunia (EUPLA), Universidad de Zaragoza. Calle Mayor s/n, 50100, La Almunia de Doña Godina, Zaragoza, España, ^e Departament Ecologia Urbana, Àmbit de Badalona Pròspera i Sostenible, Ajuntament de Badalona, España. E-mail: ^{a*}eduardo.martinez@cetaqua.com, ^bmanuel.gomez@upc.edu, ^cbrusso@aquatec.es, ^cpsanchezh@aquatec.es, ^ejmontes@badalona.cat.

Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

En zonas urbanas se llevan a cabo un gran número de actividades, requiriendo algunas de ellas el uso de vehículos. Dichas zonas están expuestas a inundaciones, que pueden producir importantes daños tangibles y directos a los propios vehículos. En este artículo se propone una nueva metodología para evaluar los impactos económicos directos producidos por las inundaciones a vehículos en el contexto del proyecto europeo H2020 BINGO (*Bringing INnovation to onGOing water management – a better future under climate change*, 2015 – 2019). Existe un número limitado de propuestas para la evaluación de daños a vehículos expuestos a inundaciones, todos ellos como función del calado de agua en contacto con el propio vehículo (curvas de daños). Estos son los propuestos por la agencia federal para la gestión de emergencias de los Estados Unidos (2015), los criterios expuestos en el proyecto CRUE (Francés *et al.*, 2008) y la propuesta del cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos (USACE, 2009), siendo este último el más reciente, exhaustivo y el que más tipologías de automóviles en zona urbana tiene en cuenta. Por ello, las curvas de daños desarrolladas por USACE se han considerado como las más adecuadas y se han utilizados en este trabajo.

El caso de estudio para la evaluación de los daños por inundación es el municipio español de Badalona, uno de los seis casos de estudio del proyecto BINGO. Badalona es una ciudad del área metropolitana de Barcelona en el este de Cataluña, situada entre el mar mediterráneo y la sierra de la Marina, con unos 215.000 habitantes repartidos en 21,2 km² (12 km² de área urbana). En el marco de este proyecto se ha desarrollado y calibrado un modelo hidrológico e hidráulico acoplado 1D/2D con el programa *InfoWorks Integrated Catchment Modelling* (ICM) (de Innovyze), a partir de un modelo de alcantarillado 1D (desarrollado en 2012 para el Plan Director de Alcantarillado Urbano del mismo municipio), un modelo digital del terreno de alta resolución (2 m resolución de celda) y la información de 17 limnímetros y 3 pluviómetros distribuidos a lo largo de su red.

Como punto de partida de la metodología a emplear se han estudiado las inundaciones producidas por las lluvias de diseño de 1, 10, 100 y 500 años de período de retorno. En el modelo de InfoWorks ICM la escorrentía superficial se representa a partir de una malla de celdas triangulares no estructurada, que contienen, entre otras variables, el calado. Esta información, junto con curvas de daños en función del calado de agua (expresadas como euros por metro cuadrado de área afectada, considerando el precio local de los diferentes vehículos), van a permitir desarrollar la metodología para la evaluación de daños a vehículos, gracias a herramientas de geoprocésamiento (SIG).

Las curvas de daños originales del USACE (2009) para diferentes tipos de vehículos se han modificado a partir de información proporcionada por el Ayuntamiento de Badalona (tipos de vehículos matriculados en Badalona) y la depreciación del precio medio en función de la antigüedad de los vehículos del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad español (España, 2016).

Ante la falta de técnicas de fotogrametría adecuadas, se ha considerado una distribución espacial de vehículos según la ocupación vehicular en diferentes zonas de Badalona estudiada a partir de fotografías aéreas. Si bien este enfoque no tiene en cuenta la ubicación real de los vehículos, se han definido 8 zonas de análisis, entre residenciales e industriales y diferentes ocupaciones vehiculares, en las que se han contabilizado el número de vehículos y su área de ocupación. El método tiene en

cuenta densidades vehiculares heterogéneas según estas 8 zonas, extensibles a patrones de mayor extensión y cubriendo la totalidad del municipio. De esta forma, cada celda de la malla se asocia con una ocupación vehicular (%).

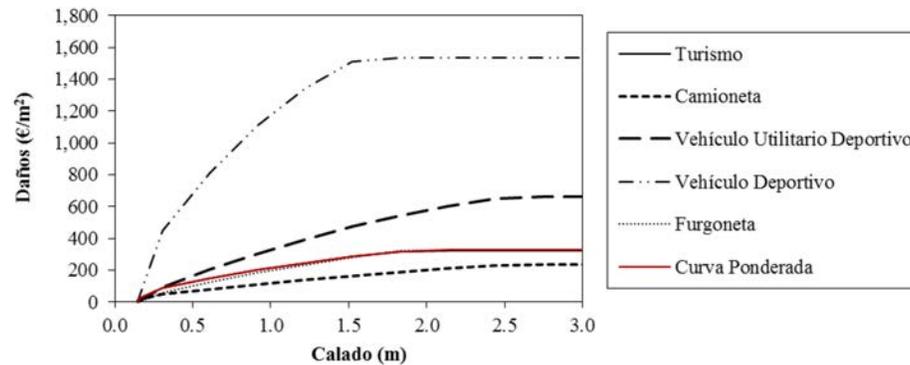


Figura 1 | Adaptación de las curvas del USACE y curva ponderada propuesta.

Asumiendo estas consideraciones, la curva de daños creada para este caso se ha aplicado en cada celda, obteniendo así, el coste para cada una de ellas. La suma de éstas para cada período de retorno permite obtener el daño para los diferentes períodos de retorno estudiados. Obtenidos estos resultados se puede calcular del Daño Anual Esperado (*DAE*) mediante la integración del área debajo de la curva formada después de graficar la probabilidad de ocurrencia de los daños y el valor económico de estos (Meyer *et al.*, 2011). El *DAE* obtenido para el presente estudio es de 320.983 €.

Una nueva metodología para la evaluación del impacto económico directo a vehículos por inundación se ha desarrollado en el marco del proyecto BINGO, a partir de la propuesta de curvas de daño de USACE. El desarrollo de técnicas de fotogrametría facilitarían la localización y digitalización de vehículos, obteniéndose así una mayor resolución en los resultados. La metodología propuesta se puede hacer extensiva a otros países, dado que el daño se expresa en términos relativos y permite tener en cuenta los precios locales de los vehículos de cada ciudad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del proyecto BINGO, financiado por el programa H2020 de la Unión Europea (Acuerdo No. 641739).

REFERENCIAS

- España (2016) Orden HFP/1895/2016, de 14 de diciembre. Boletín Oficial del Estado, 17 de diciembre de 2016, 304, pp. 87816-88485. [online: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2016-11948>].
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). Department of Homeland Security. Mitigation Division. (2015). Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Flood Model. Hazus-MH MR5 Technical Manual. Washington, D.C., USA. 449p.
- Francés F., García-Bartual R., Ortiz E., Salazar S., Miralles J. L., Blöschl G., Komma J., Haberer C., Bronstert A., Blume T. (2008). Efficiency of non-structural flood mitigation measures: “room for the river” and “retaining water in the landscape.” CRUE Research Report No I-6. 242p.
- Meyer V., Priest S., Kuhlicke C. (2011) Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures: examples from the Mulde River. *Nat Hazards* 62:301–324.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2009). Economic Guidance Memorandum, 09-04, Generic Depth-Damage Relationships for Vehicles. Washington, D.C, USA. 9p.

Algoritmo multiobjetivo para la rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el uso de una librería de funciones basadas en SWMM5

Martínez-Solano, F.J.^{a1}, Iglesias-Rey, P.L.^{a2} y Saldarriaga, J.G.^b

^a Dep. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España (jmsolano@upv.es^{a1}, piglesia@upv.es^{a2}),

^b Dep. de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Colombia (jsaldarr@uniandes.edu.co).

Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

Introducción

El Storm Water Management Model (SWMM) es un modelo dinámico de simulación del flujo generado por aportes de agua procedente de precipitaciones o de aguas residuales desarrollado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA). Este programa resuelve las ecuaciones hidráulicas de la red mediante tres algoritmos distintos: régimen uniforme, onda cinemática y onda dinámica. El primero es prácticamente insensible al intervalo de tiempo utilizado, mientras que el último requiere intervalos muy cortos (inferiores a un minuto) lo que se traduce en largos tiempos de simulación.

La USEPA proporcionó en su día unas herramientas para interfaz que permitían la ejecución de una simulación desde una aplicación externa siempre y cuando se hubiesen definido previamente las características de la red. El funcionamiento de esta librería es sencillo. Al abrir el proyecto se debe leer el archivo que contiene los datos del mismo. A continuación se procede a ejecutar el cálculo, pudiendo realizarse un análisis completo o paso a paso. Finalmente, los resultados se escriben en un archivo binario que posteriormente habrá que leer. Esta herramienta solo dispone de nueve funciones que permiten realizar estas funciones. Sin embargo, no es posible recoger resultados parciales de dicha simulación ni modificar los datos de la misma hasta que no ha finalizado el proceso. En procesos de optimización, es habitual evaluar soluciones parciales y mejorarlas hasta alcanzar una solución final. La librería existente obliga a leer los archivos de resultados y, eventualmente, escribir los archivos de datos con las modificaciones que se precisen incluir. La manipulación de archivos es computacionalmente muy costosa, por lo que se plantea la posibilidad de realizar las modificaciones directamente en memoria, sin recurrir a la manipulación de archivos.

El objetivo de este trabajo consiste en dotar de mayor flexibilidad a la capacidad de interacción de SWMM. Para ello, se presenta una librería de funciones (Toolkit) que amplían notablemente las ya existentes, pasando de 9 a 22 funciones. Con ellas se permite no solo la ejecución de las simulaciones, sino también la lectura de los resultados y la modificación de las características de la red. Todo ello sin necesidad de manipular archivos, lo que reduce considerablemente los tiempos de cálculo. Se han medido reducciones de hasta el 75% del tiempo de computación.

Descripción

El funcionamiento de la interfaz desarrollada por la USEPA reproduce el funcionamiento del programa SWMM en modo de comandos (ejecución en modo consola). La idea de preparar una nueva librería de acceso parte de la necesidad de simplificar operaciones en caso de cálculos repetitivos, como sucede en la mayoría de los algoritmos de optimización aplicados al diseño y operación de redes. Así, lo que se busca con la librería es reducir operaciones repetitivas innecesarias:

- Para problemas de optimización de la red, el cálculo hidrológico no tiene porqué ser efectuado cada vez. Por tanto, es posible realizar un cálculo hidrológico preliminar, obtener los hidrogramas de escorrentía que ingresan en cada elemento y realizar exclusivamente el cálculo hidráulico.

- Se evita tener que reescribir el archivo de datos cada vez que se modifica algún parámetro de la red. Esta es una de las operaciones que más tiempo de ejecución requieren por lo que se modifican los parámetros directamente en memoria, sin recurrir a la escritura de los archivos.
- Por último, la escritura de resultados de SWMM no es sencilla de manipular. Existe un archivo binario de resultados que presenta principalmente resúmenes estadísticos de resultados (caudales máximos, niveles máximos, balances de volúmenes, etc.). Para obtener información detallada de un elemento es necesario filtrar el informe de resultados en busca de dicha información. Por ello, se ha optado por leer directamente los resultados después de cada iteración. De esta forma no es necesario leer el archivo (de hecho, se puede obviar incluso su escritura) y se agiliza el cálculo.

En la Figura 1 se muestra el esquema seguido para la preparación de la librería. En esta figura se destaca que el algoritmo de optimización accede directamente al núcleo de cálculo sin recurrir a la modificación del archivo de datos del proyecto.

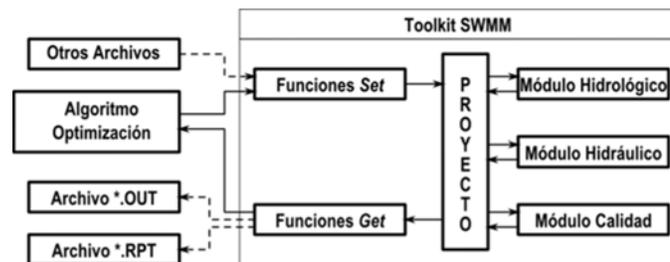


Figura 1 | Esquema modular de la librería de SWMM.

Aplicación

La librería anterior se ha preparado para optimizar la gestión de la red del sector de Chicó en Bogotá (Colombia). El objetivo consiste en reducir el volumen de inundación de dicha zona mediante el uso combinado de rehabilitación de la red a través del incremento en la capacidad de transporte de los conductos y el empleo de métodos basados en el almacenamiento en red del exceso de volumen de lluvia mediante depósitos en línea. Si bien es posible reducir el problema a una optimización de una función objetivo al traducir las tres variables puestas en juego (inundación, instalación de nuevos conductos e instalación de depósitos) a sendas cantidades económicas, se ha optado por hacer un análisis multiobjetivo de cada una de ellas con el fin de obtener la frontera de Pareto. Para ello se ha utilizado el algoritmo conocido como Algoritmo Genético No Ordenado (más conocido por su acrónimo en inglés NSGA-II). Dado el coste computacional de dicho algoritmo, se decidió elaborar la librería antes mencionada basada en SWMM5.

Tras la aplicación del algoritmo, se han obtenido diagramas de Pareto entre los tres objetivos evaluados con unos tiempos de computación muy inferiores a los que habrían sido necesarios en el caso de optar por plantear distintos archivos para cada uno de los individuos que debían formar parte de la población evaluada.

Metodología experimental para el estudio del lavado y transporte de sedimentos en una cuenca urbana de laboratorio a escala real

Naves, J.^{a1}, Anta, J.^{a2}, Puertas, J.^{a3}, Suárez, J.^{a4} y Regueiro-Picallo M.^{a5}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}juan.naves@udc.es, ^{a2}jose.anta@udc.es, ^{a3}jpuestas@udc.es, ^{a4}jsuarez@udc.es, ^{a5}manuel.regueiro1@udc.es.

Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

Generalmente los módulos de calidad de aguas de los modelos de drenaje urbano están basados en ecuaciones empíricas. Estas ecuaciones suelen utilizar parámetros como el tiempo seco precedente o la precipitación total, por lo que no consideran otros procesos más complejos como la suspensión de los contaminantes debido al impacto de las gotas de lluvia y la tensión de corte, su transporte mediante la escorrentía generada o su posible deposición. Sin embargo en los últimos años se han desarrollado modelos que incorporan formulaciones considerando estos procesos físicos (Cea et al., 2015). Estas formulaciones requieren la definición de parámetros de entrada que están sometidos a muchas incertidumbres en una cuenca real como es el caso de la topografía de la cuenca, la concentración inicial de sólidos en la superficie o las características de la lluvia. En este trabajo se presenta una metodología experimental en la que se mide el proceso de lavado y transporte de sedimentos en superficie y en tuberías sin efectos de escala y bajo condiciones controladas de laboratorio, con que permite obtener un conjunto de datos óptimos para validar y calibrar de forma precisa este tipo de modelos.

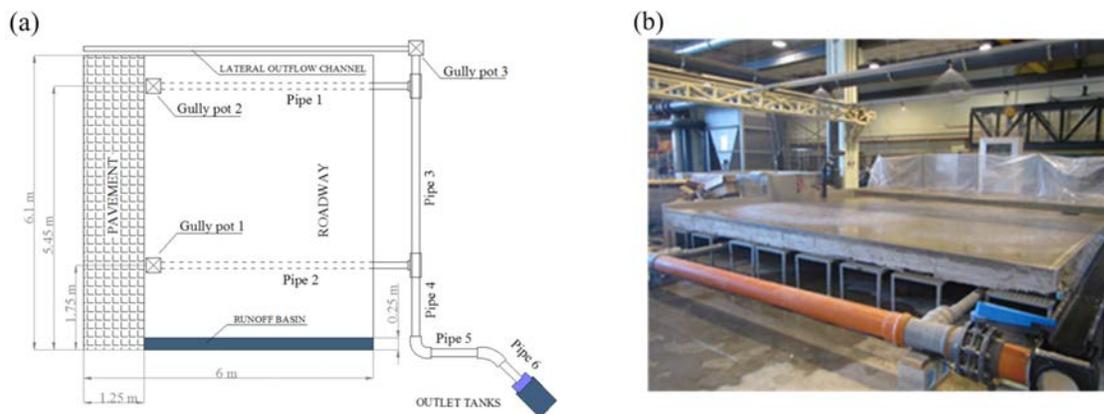


Figura 1 | Geometría (a) e imagen general de la configuración experimental (b). Naves et al. (2016)

La campaña experimental se ha desarrollado en un modelo físico situado en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC). Esta instalación consiste en un tramo de calle con pavimento de hormigón que se conecta a una red de colectores a través de tres arquetas (Figura 1). Sobre el modelo se ha instalado un nuevo simulador de lluvia mediante goteros que es capaz de generar lluvias de 30, 50 y 80 mm/h. Para simular la concentración de sólido en superficies se ha utilizado sedimento real recogido de una vía de alta intensidad de tráfico. Los ensayos consisten en disponer sobre la superficie diferentes granulometrías de sedimento y simular un evento de lluvia cuyas características (uniformidad espacial, intensidad y distribución de tamaños y velocidades de las gotas) han sido determinadas previamente mediante pluviómetros y un disdrómetro óptico por láser *Parsivel 2* (OTT Hydromet). Durante el ensayo se mide el caudal y los sólidos en suspensión totales (SST) en las arquetas y en el punto de drenaje de la red de tuberías. En la Figura 2 (a y b) se puede apreciar cómo se toman las muestras manuales para la determinación de los SST. Estas muestras también se emplean para la

calibración de una sonda de turbidez Solitax instalada en el punto de desagüe, que permite obtener una señal en continuo de los sólidos. Una vez terminado el ensayo no todo el sedimento que se distribuye inicialmente es lavado y drenado por la lluvia generada, por lo que queda depositado en la superficie de la calle, en las arquetas y en la red de tuberías. Este sedimento se recoge con el objetivo de cerrar el balance de masas y comprobar así la fiabilidad de los resultados.

En la Figura 2 (c) se incluye como ejemplo los resultados de caudales y SST en el punto de vertido. Estos resultados, sumados a una precisa caracterización hidráulica, se consideran muy apropiados para la calibración y validación de módulos de transporte de sedimentos en modelos numéricos de drenaje urbano.

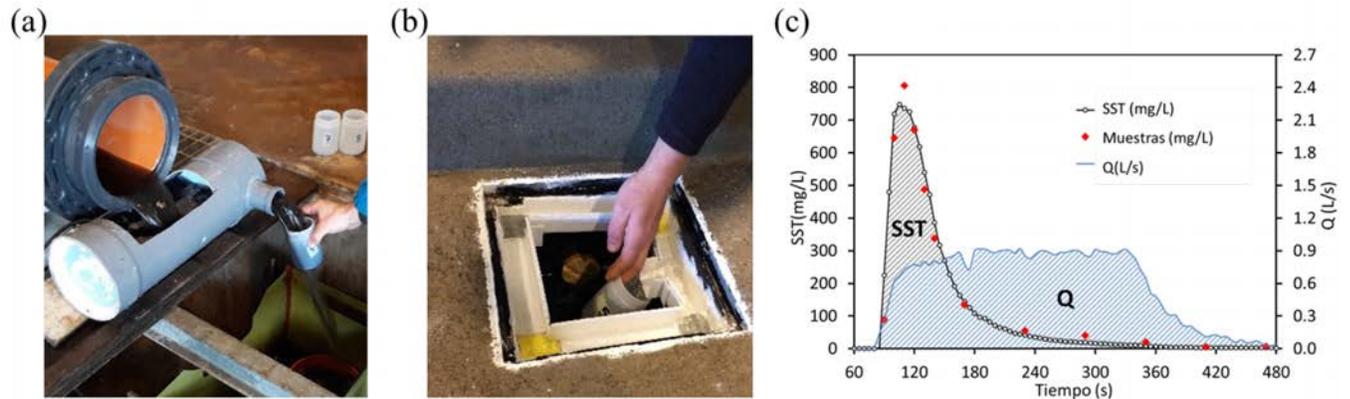


Figura 2 | Toma de muestras manuales en el punto de vertido de la red de tuberías (a) y en la entrada de las arquetas (b). Caudal y sólidos en suspensión totales (SST) obtenidos a partir del análisis de las muestras y de la calibración de la sonda de turbidez en el punto de vertido.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiada parcialmente a través del proyecto “SEDUNIT: Análisis de los procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos cohesivos en sistemas de saneamiento unitario” – Referencia CGL2015-69094-R (MINECO/FEDER, UE). El primer autor ha sido financiado por la beca de doctorado FPU14/01778.

REFERENCIAS

- Cea, L., Legout, C., Grangeon, T., and Nord, G. (2015). Impact of model simplifications on soil erosion predictions: application of the GLUE methodology to a distributed event-based model at the hillslope scale. *Hydrological Processes*.
- Naves J., Jikia Z., Anta J., Puertas J., Suárez J., Regueiro-Picallo M. 2016 Experimental study of pollutant washoff on a full-scale street section physical model. 8th International Conference on Sewer Processes and Networks, August 31 –September 2, Rotterdam (The Netherlands)

Montaje y calibración de un simulador de lluvia para estudios de drenaje urbano

Naves, J.^{a1}, Puertas, J.^{a2}, Anta, J.^{a3}, Suárez, J.^{a4} y Regueiro-Picallo M.^{a5}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}juan.naves@udc.es, ^{a2}puertas@udc.es, ^{a3}jose.anta@udc.es, ^{a4}jsuarez@udc.es, ^{a5}manuel.regueiro1@udc.es.

Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

Los simuladores de lluvia son una herramienta ampliamente utilizada para estudios de drenaje urbano y erosión de suelos en laboratorio y en campo. Su uso permite incrementar el control sobre las variables que caracterizan una precipitación, haciendo posible simular y replicar lluvias de diferentes intensidades, tamaños de gota y duraciones. A pesar de estas ventajas, la dificultad para replicar de manera precisa las características de la lluvia real, hace que se hayan desarrollado numerosos diseños (Kathiravelu et al., 2014) sin que ninguno de ellos se presente como una solución idónea. En este trabajo se presenta el montaje y la calibración de un nuevo simulador de lluvia diseñado para su utilización en el estudio del lavado y transporte de sedimentos en un modelo físico de una cuenca urbana, situado en el laboratorio de hidráulica del Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC). En la figura 1 se incluyen dos imágenes en las que se muestra el modelo de laboratorio y el prototipo de simulador de lluvia.

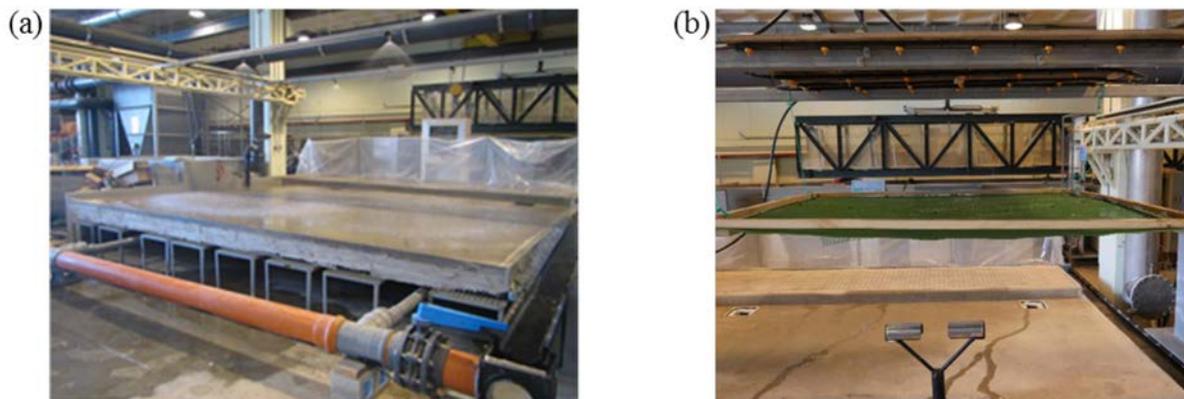


Figura 1 | Imagen del modelo físico sobre el que se simula la lluvia (a, Naves et al., 2016) y prototipo del simulador de lluvia mediante goteros sobre la superficie del modelo (b).

Este simulador cubre una superficie de 36 m² siendo capaz de generar tres intensidades de lluvia de 30, 50 y 80 mm/h mediante dos cuadrículas intercaladas de goteros de 1.2 y 2 L/s respectivamente, con una separación entre ellos de 20 cm. Los goteros se han elegido autocompensantes de manera que el caudal se mantenga constante con las posibles variaciones de presión. Las gotas producidas por estos goteros son uniformes y de un diámetro de unos 4 mm, muy por encima del tamaño medio de gota de una lluvia real. Por lo tanto se ha instalado una malla bajo los goteros de manera que rompa estas gotas y genere una distribución heterogénea de tamaños de gota representativa de una lluvia real. Esta malla también distribuye la lluvia produciendo una intensidad uniforme en toda la superficie.

Además de la uniformidad y de la intensidad de lluvia, en el proceso de lavado de contaminantes de superficies impermeables cobra una especial importancia el tamaño y la velocidad con la que las gotas de lluvia impactan en la superficie provocando la suspensión de las partículas para su posterior transporte por la escorrentía generada. Por ello se ha utilizado un

disdrómetro óptico por láser *Parsivel 2* (OTT Hydromet), además de pluviómetros, para caracterizar las lluvias simuladas con diferentes luces de malla y distancias de caída de las gotas entre los goteros y la malla.

Los resultados obtenidos muestran que este simulador de lluvia consigue un control elevado sobre la uniformidad e intensidad de la lluvia a partir de la variación del tipo de malla y su distancia a los goteros. Los tamaños y velocidades de gotas generados se han comparado con datos de lluvias reales registrados en la azotea del centro (Figura 2). Se puede comprobar que, aunque no se generan gotas mayores a 2 mm, el tamaño medio de gota generado por el simulador está dentro del rango de una lluvia real. Sus características hacen que este simulador se presente como idóneo para instalaciones fijas de laboratorio en los que se disponga de suficiente altura sobre el modelo físico para que las gotas impacten en la superficie con una velocidad igual a la terminal, como sucede en una precipitación real.

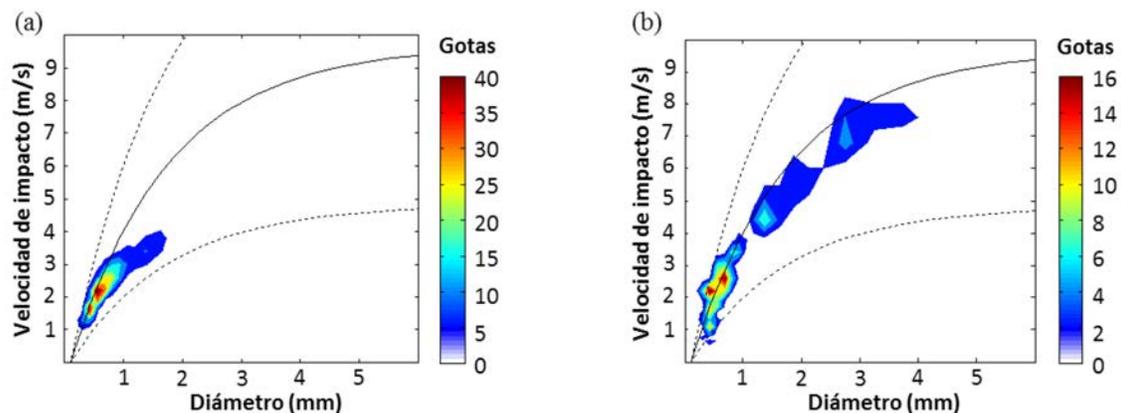


Figura 2| Distribución de tamaños y velocidades de gotas del simulador (a) y de una lluvia real (b), para una intensidad de precipitación de 30 mm/h. La línea sólida corresponde con la relación experimental entre el diámetro y la velocidad de caída obtenida por Atlas et al. (1973), mientras que las líneas a puntos muestran como referencia una variación del 50% de esta relación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiada parcialmente a través del proyecto “SEDUNIT: Análisis de los procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos cohesivos en sistemas de saneamiento unitario” – Referencia CGL2015-69094-R (MINECO/FEDER, UE). El primer autor ha sido financiado por la beca de doctorado FPU14/01778.

REFERENCIAS

- Kathiravelu G., Lucke T., Nichols P. 2014 Designing the Perfect Rainfall Simulator for Urban Stormwater Studies: An Impossible Dream? In Proceedings of the 13th International Conference on Urban Drainage (pp. 1-9). International Water Association.
- Laws J.O. 1941 Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 22(3), 709-721.
- Naves J., Jikia Z., Anta J., Puertas J., Suárez J., Regueiro-Picallo M. 2016 Experimental study of pollutant washoff on a full-scale street section physical model. 8th International Conference on Sewer Processes and Networks, August 31 –September 2, Rotterdam (The Netherlands).

Transporte de sedimentos cohesivos en conducciones de saneamiento unitario

Regueiro-Picallo, M.^{a1}, Anta, J.^{a2}, Suárez, J.^{a3}, Puertas, J.^{a4}, Naves, J.^{a5} y Jácome, A.^{a6}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}manuel.regueiro1@udc.es, ^{a2}jose.anta@udc.es, ^{a3}suarez@udc.es, ^{a4}jeronimo.puertas@udc.es, ^{a5}juan.naves@udc.es, ^{a6}ajacome@udc.es.

Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

El transporte de sedimentos en sistemas de saneamiento unitario es un fenómeno complejo estudiado por diferentes autores en las últimas décadas (Ashley et al., 2004). Principalmente, estos estudios se han planteado en laboratorios con sólidos inorgánicos o parcialmente cohesivos y se han encontrado pocos trabajos en la literatura en los que se analice este fenómeno de acumulación y resuspensión de sedimentos con un flujo de agua residual urbana bajo unas condiciones controladas de laboratorio. Para ello, el siguiente trabajo se ha desempeñado en la plataforma de ensayos para conducciones con agua residual urbana situada en la planta de pretratamiento de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Bens, en A Coruña (Figura 1). La descripción detallada de esta instalación se encuentra en Suárez et al. (2015).

Las conducciones analizadas son dos tubos circulares de PVC de 7.5 m de longitud y diámetro exterior de 315 y 400 mm respectivamente. Este tipo de geometrías son las más utilizadas en las redes secundarias de los sistemas de saneamiento. En la serie de ensayos planteada se han estudiado diferentes rangos de pendientes (1‰-5‰) y de caudales, simulando tanto condiciones de tiempo seco (acumulación) como de eventos de lluvia (resuspensión-lavado).

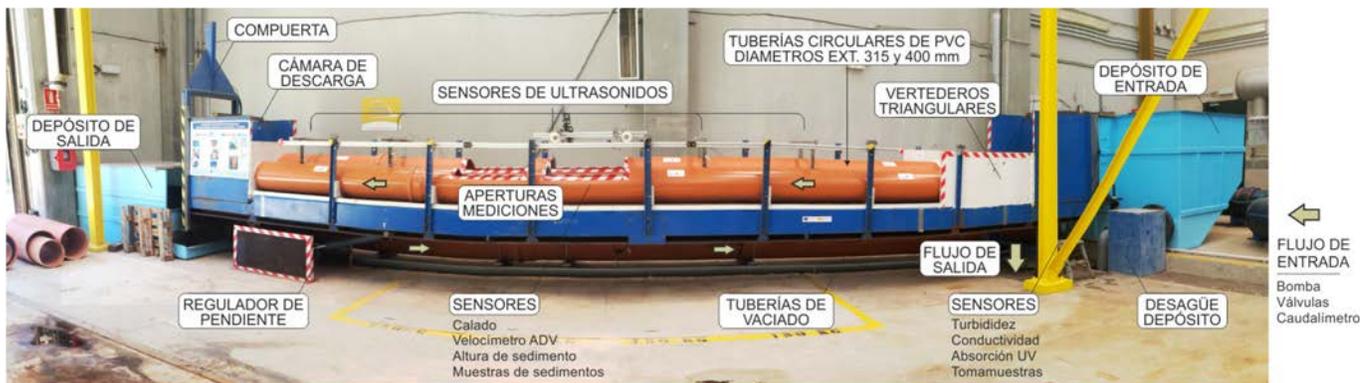


Figura 1 | Plataforma de ensayos situada en la EDAR de Bens (A Coruña).

En la serie de ensayos se ha simulado inicialmente un período de tiempo seco con un caudal constante siguiendo la metodología planteada en Regueiro-Picallo et al. (2017). Durante esta fase se han monitorizado los caudales de entrada, los calados en varios puntos a lo largo de las tuberías y los parámetros de conductividad, turbidez y materia orgánica del agua residual. Además, de forma puntual, se han registrado la acumulación de sedimentos en las tuberías a partir de técnicas fotogramétricas, los campos de velocidades con un velocímetro ADV Nortek Vectrino© y muestras manuales de los sólidos acumulados en la sección central de las tuberías. Una vez que se ha estabilizado el lecho de sedimentos se han simulado eventos de lluvia elevando el caudal de entrada en cada tubería para favorecer la resuspensión sedimentos. En esta fase de los experimentos se ha registrado el volumen de sedimentos antes y después del evento simulado y se han tomado muestras manuales del agua residual a la entrada y salida de las tuberías para obtener el volumen de sedimentos erosionado y muestras del lecho para analizar las características de los sedimentos (Figura 2a).

V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

A partir del estudio de acumulación se ha establecido la evolución de la sedimentación en el fondo de cada tubería, hasta obtener un volumen de sedimentos acumulados límite para cada una de las condiciones hidráulicas impuestas. Además, Los perfiles de velocidades han permitido establecer una relación entre la evolución de las tensiones de arrastre y el volumen de sedimentos acumulado (Figura 2b). Por último, a partir de las muestras de sedimento se han diferenciado los tipos de partículas depositadas en el contorno de las tuberías y, a su vez, se han analizado las propiedades físico-químicas que favorecen su resuspensión.

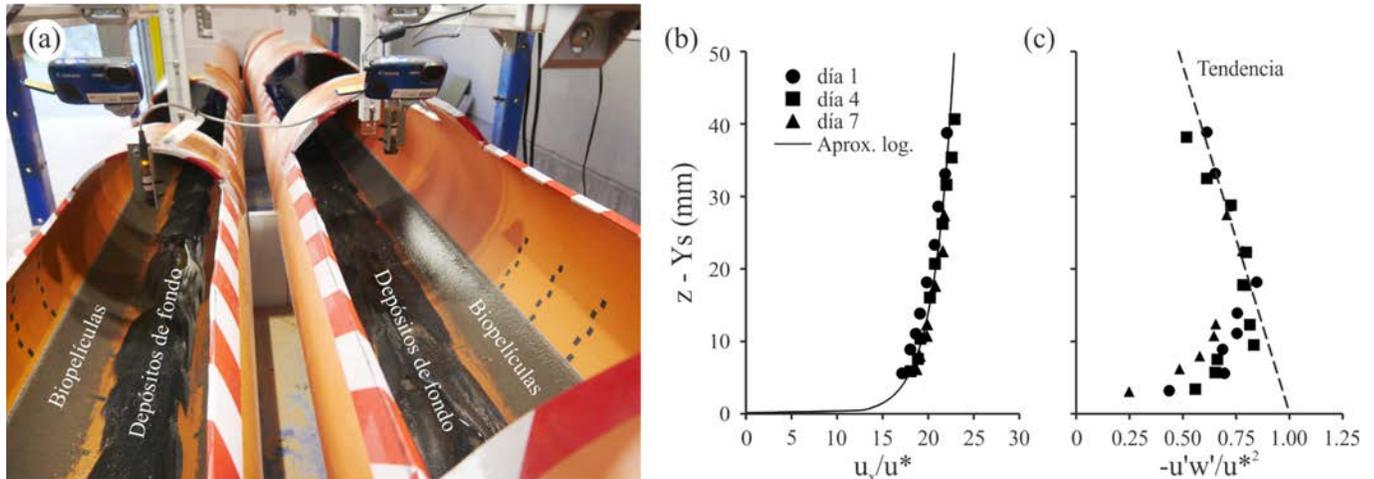


Figura 2 | Acumulación de dos tipos de sedimentos en los contornos de las tuberías (a) y perfiles velocidades (b) y tensiones (c) en distintos días durante la fase de acumulación en la tubería de diámetro 315 mm.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el MINECO y el programa FEDER a través de los proyectos “SEDUNIT” (Ref. CGL2015-69094-R) y “OVALPIPE II” (Ref. RTC-2016-4987-5). El trabajo de investigación de Juan Naves está financiado por la beca FPU14/01778. Los autores también quieren agradecer a las empresas EDAR Bens SA y ABN Pipe Systems SLU y al trabajo de Montse Recarey por su colaboración durante la campaña experimental.

REFERENCIAS

- Ashley, R., Bertrand-Krajewski, J. L., Hvitved-Jacobsen, T., Verbanck, M. (2004). *Solids in sewers*. Scientific & Technical Report No. 14. IWA Publishing, London, UK.
- Regueiro-Picallo, M., Naves, J., Anta, J., Suárez, J., Puertas, J. 2017. Monitoring accumulation sediment characteristics in full scale sewer physical model with urban wastewater. *Wat. Sci. Tech.*, in press, doi:10.2166/wst.2017.118
- Suárez, J., Anta, J., Puertas, J., Naves, J., Regueiro-Picallo, M. 2015. Plataforma de ensayos para conducciones con agua residual urbana en la EDAR de A Coruña. *IV Jornadas de Ingeniería del Agua*, Córdoba, España.

Aplicación de la técnica Structure From Motion (SFM) para la determinación de la acumulación de sedimentos en redes de saneamiento

Regueiro-Picallo, M.^{a1}, Naves, J.^{a2}, Anta, J.^{a3}, Suárez, J.^{a4}, Puertas, J.^{a5} y Jácome, A.^{a6}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}manuel.regueiro1@udc.es, ^{a2}juan.naves@udc.es, ^{a3}jose.anta@udc.es, ^{a4}jsuarez@udc.es, ^{a5}jeronimo.puertas@udc.es, ^{a6}ajacome@udc.es.

Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

Los sólidos acumulados en las redes de alcantarillado son una de las principales fuentes de contaminación en el saneamiento de las áreas urbanas. En este estudio se plantea una metodología basada en técnicas fotogramétricas para medir la acumulación de sedimentos. Para ello se ha utilizado una instalación diseñada para el ensayo de conducciones con agua residual urbana situada en la planta de pretratamiento de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Bens (A Coruña). La principal ventaja de esta instalación es la posibilidad de estudiar los procesos de transporte de sedimentos en conducciones de saneamiento comerciales con agua residual real y bajo condiciones controladas de laboratorio (Suárez et al., 2015). En este trabajo se han ensayado los procesos de acumulación y lavado de sedimentos sobre dos configuraciones de tuberías circulares de PVC con diámetros exteriores de 315 y 400 mm, basados en la metodología planteada por Regueiro-Picallo et al. (2017).

Para medir el volumen de sólidos acumulados en ambas tuberías se ha utilizado la técnica fotogramétrica “Structure From Motion” (SFM). Esta técnica permite obtener una reconstrucción del contorno a partir de una serie de imágenes registradas a través de una apertura en el centro de cada una de las tuberías. Para la composición de las imágenes se ha utilizado el software VisualSFM desarrollado por Wu et al. (2011) y Wu (2013), mientras que con el software MeshLab se ha obtenido la malla para el cálculo del volumen de sedimento acumulado (Figura 1). Ambos programas no presentan licencia (software libre), lo que resulta una de las principales ventajas de esta metodología.

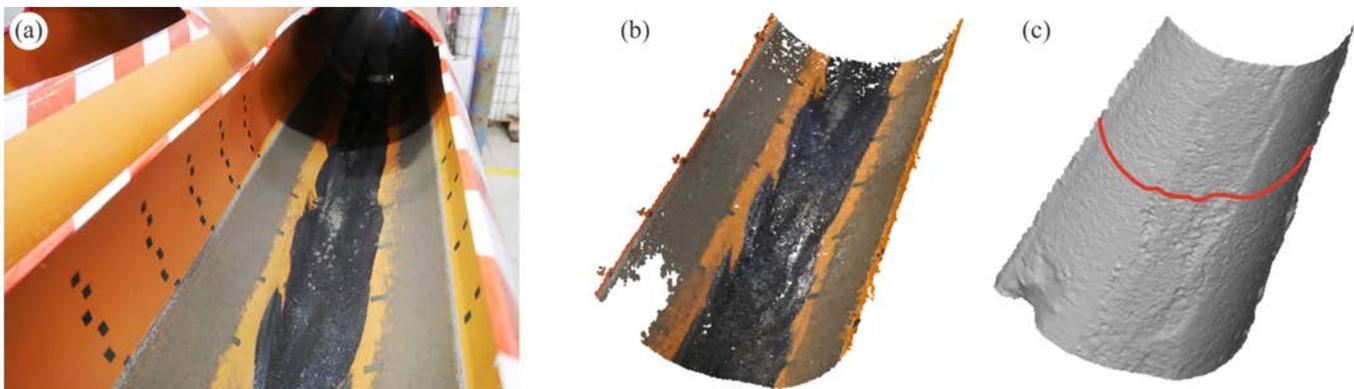


Figura 1 | Ejemplo de una imagen del contorno de la tubería de 315 mm (a), vista de la reconstrucción del modelo 3d (b) y vista de un perfil trasversal obtenido a partir de la malla.

Durante la serie de ensayos se han observado dos tipologías de sedimentos fácilmente diferenciadas: un sedimento granular depositado en el fondo de las tuberías y la formación de biopelículas adheridas a las paredes de las tuberías. Siguiendo la clasificación propuesta por Crabtree (1989) estos sedimentos corresponden a los tipos A/C y D respectivamente.

El crecimiento de los sedimentos se ha registrado diariamente, para ello se detuvo la aportación de agua residual a las tuberías de forma controlada evitando el lavado de la estructura de sedimentos. Esta metodología permite reconstruir el fondo de sedimentos en la sección de control de cada tubería. De esta forma, es posible calcular en sección transversal el área de

sedimentos acumulados de forma diaria y en sección longitudinal las formas de fondo desarrolladas por el flujo sobre el lecho con una resolución espacial de ± 0.1 mm (Figura 2). Como ejemplo, se ha obtenido una acumulación durante uno de los ensayos de 0.7 y 3.5 kg/m para dos instantes de acumulación de 3 y 12 días a partir del modelo 3D reconstruido.

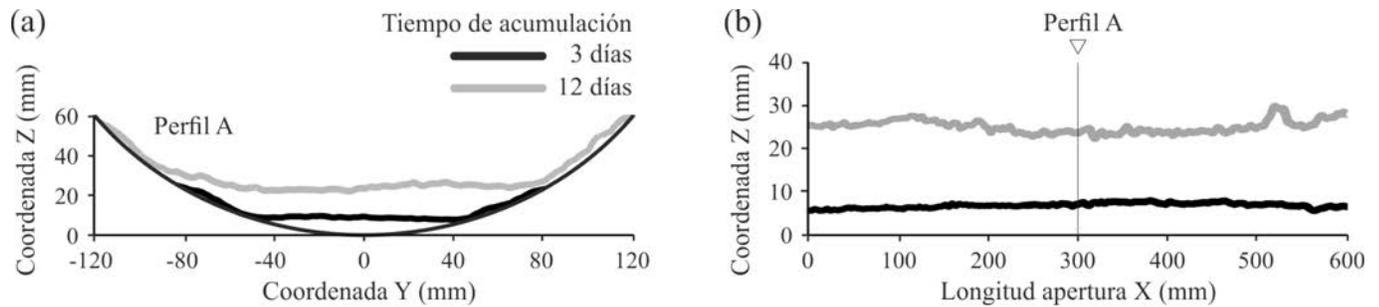


Figura 2 | Perfil trasversal (a) y longitudinal (b) de sedimentos acumulados después de 3 y 12 días de ensayo en la tubería de 315 mm.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el MINECO y el programa FEDER a través de los proyectos “SEDUNIT” (Ref. CGL2015-69094-R) y “OVALPIPE II” (Ref. RTC-2016-4987-5). El trabajo de investigación de Juan Naves está financiado por la beca FPU14/01778. Los autores también quieren agradecer a las empresas EDAR Bens SA y ABN Pipe Systems SLU por su colaboración durante la campaña experimental.

REFERENCIAS

- Crabtree, R.W. 1989. Sediments in sewers. *Water and Environment Journal* 3(6), 569-578.
- Regueiro-Picallo, M., Naves, J., Anta, J., Suárez, J., Puertas, J. 2017. Monitoring accumulation sediment characteristics in full scale sewer physical model with urban wastewater. *Wat. Sci. Tech.*, in press, doi:10.2166/wst.2017.118
- Suárez, J., Anta, J., Puertas, J., Naves, J., Regueiro-Picallo, M. 2015. Plataforma de ensayos para conducciones con agua residual urbana en la EDAR de A Coruña. *IV Jornadas de Ingeniería del Agua*, Córdoba, España.
- Wu, C., Agarwal, S., Curless, B. and Seitz, S.M. (2011). Multicore bundle adjustment. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 3057-3064.
- Wu, C. (2013). Towards Linear-time Incremental Structure From Motion. *2013 International Conference on 3D Vision-3DV 2013*, 127-134.

Análisis de la validez de la cartografía satelital para su uso en la estimación de zonas inundables

Ruiz, O.^a, Sánchez, J.M.^{b1} y Álvarez, C.^{b2}

^aGrupo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA). Escuela Politécnica de La Almunia (EUPLA). Universidad de Zaragoza. c/ Mayor s/n · 50100 La Almunia de Doña Godina (Zaragoza) email: oruiz@unizar.es, ^{b1}Escuela Técnica Superior Ingenieros Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros, s/n 39005 Santander email: ^{b1}javier.sanchez@unican.es, ^{b2}cesar.alvarez@unican.es

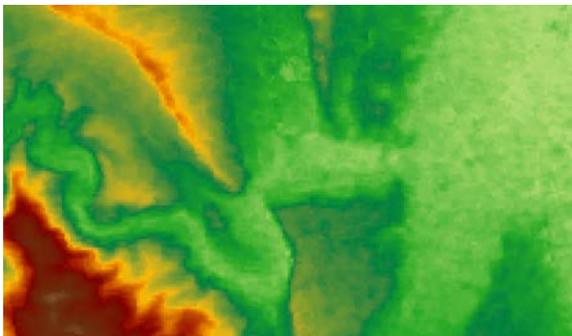
Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

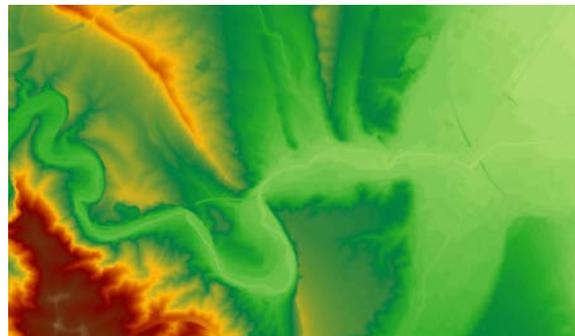
El estudio de las avenidas de los ríos, aunque en constante mejora, dispone de una base científica y de unas herramientas de cálculo suficientes para una adecuada valoración de los riesgos de inundación. Los modelos hidráulicos se apoyan en una cartografía generalmente desarrollada específicamente para el proyecto pero se da la circunstancia que en los países donde mayores son los efectos de las inundaciones menor es la capacidad para generar la cartografía necesaria para realizar la modelización. De toda la información necesaria para formar los modelos que permiten estimar el alcance de las inundaciones, la cartográfica es la más costosa (desde el punto de vista económico) de conseguir.

Por otro lado, los satélites de proyectos como ALOS PALSAR, TerraSAR-X, ASTER, STRM o Sentinel producen Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), con precisión inferior a la manejada habitualmente en los estudios de inundación, puntos a una distancia entre 10 y 30 metros de forma gratuita, la pregunta es ¿qué error en la estimación de los riesgos obtenemos con esta menor precisión cartográfica pero económicamente accesible?

El primer paso para el análisis requiere la comparación de los distintos MDE, realizando las transformaciones necesarias para lograr una coincidencia en los puntos principales que definen cada uno de los raster donde está almacenada la información procedente de los satélites. La información comparada entre cada una de las cartografías obtiene resultados dispares concentrando las discrepancias en puntos significativos.



ASTER



LiDAR 5 m

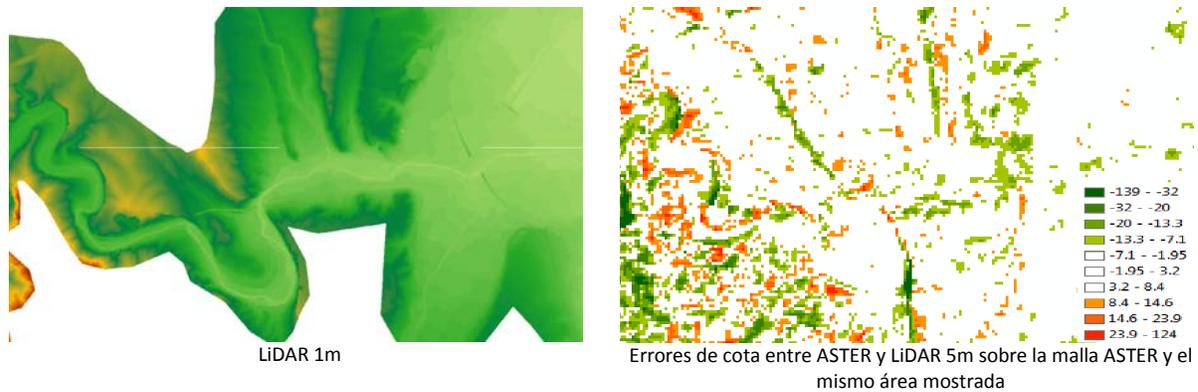


Figura 1 | Comparación entre distintas cartografías obtenidas en el análisis.

La clasificación de verosimilitud de las cartografías no se realiza por la simple comparación geométrica, sino por la comparación de los resultados de simulaciones hidráulicas bidimensionales apoyadas en la cartografía satelital comparadas con los resultados obtenidos sobre cartografía LiDAR, de mucha mayor precisión, sobre una cuenca bien conocida como es el río Jalón. Esta cuenca abarca una superficie de 9.718 km² y forma parte del tramo medio de la Cuenca del Ebro. (CHE, 2013)

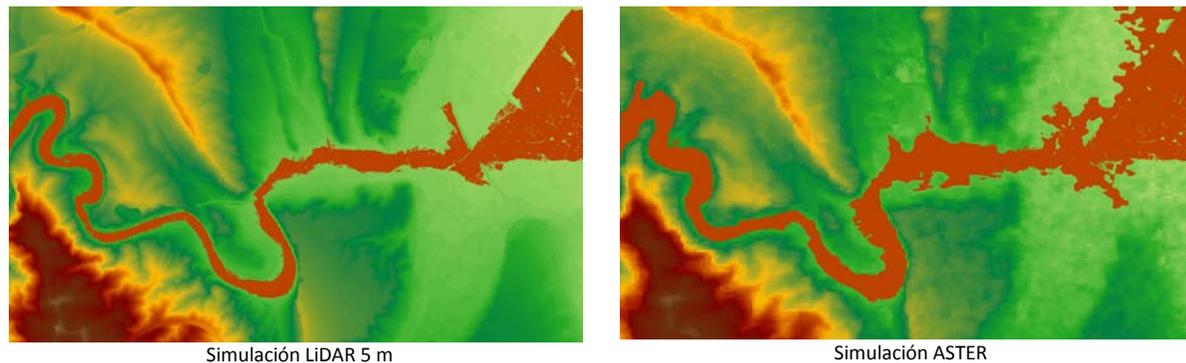


Figura 2 | Mapa de valores máximos de calados.

La simulación realizada con el modelo IBER permite estimar la bondad y validez de las cartografías analizadas. El punto de partida es una coincidencia en la estimación de las llanuras de inundación del 80%, obtenido por Yan et al. (2015), sin embargo, en su análisis utiliza una información de radar con celdas de 80 metros, casi tres veces mayores de las que estamos utilizando. A pesar de ello, para determinados análisis, un valor del 80% podría considerarse admisible. Horritt et al. (2006) obtiene un valor menos preciso, del orden del 70%, pero utiliza una metodología distinta.

AGRADECIMIENTOS

Los datos de la Cuenca del Jalón utilizados como banco de pruebas para la simulación han sido proporcionados amablemente por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

REFERENCIAS

- Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). 2013. "Plan Hidrológico del Ebro 2010 - 2015"
- Horritt, M.S., Bates, P.D. & Mattinson, M.J. 2006. Effects of mesh resolution and topographic representation in 2D finite volume models of shallow water fluvial flow. *Journal of Hydrology*, vol. 329, no. 1-2, 306-314
- Yan, Kun; Neal, Jeffrey C; Solomontine, Dimitri P. 2015. Global and Low-Cost Topographic Data to Support Flood Studies. *Hydro-Meteorological Hazards, Risks, and Disasters*, Elsevier, 105-120

Planta piloto para el análisis del rendimiento de la depuración de aguas residuales mediante macrofitas

Ruiz, O.^{a1}, Acero, A.^{a2}, Lorén, J.^{a3}, Russo, B.^{a4} y Lapuente, M.^{a5}

^aGrupo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA). Escuela Politécnica de La Almunia (EUPLA). Universidad de Zaragoza. c/ Mayor s/n · 50100 La Almunia de Doña Godina (Zaragoza) email: ^{a1}oruz@unizar.es, ^{a2}acero@unizar.es, ^{a3}jloren@unizar.es, ^{a4}brusso@unizar.es, ^{a5}651968@unizar.es

Línea temática: Agua y ciudad.

RESUMEN

La Comunidad Autónoma de Aragón tiene solucionada la depuración de los municipios de más de 2000 habitantes equivalentes y afronta el reto de depurar los municipios de menor tamaño. Distintas técnicas permiten depurar las aguas producidas por poblaciones de pequeño tamaño, la fitodepuración mediante humedales artificiales es una de ellos. Sin embargo, los humedales formados por macrofitas tienen que sufrir en Aragón dos dificultades principales. La primera de ellas es lo extremo del clima continental de la Comunidad, variando entre el clima extremadamente seco y cálido en verano frente al riguroso y frío en invierno. La segunda es la diferencia de población entre el verano y el invierno de los pequeños núcleos rurales, llegando a multiplicarse por más de 50 los habitantes en época vacacional; esto es especialmente importante si se tiene en cuenta que casi 500 municipios de los 731 totales de Aragón tienen menos de 500 habitantes. Estas variaciones llevan hasta el límite un sistema de humedal artificial que, por otro lado, no se considera en todos los ámbitos que cumpla con los criterios establecidos de depuración.

Con el objetivo de establecer la viabilidad de las depuradoras de macrofitas en la Comunidad, se ha definido una instalación de prueba, una planta piloto, en la Estación de Aguas Residuales (EDAR) de La Almunia de Doña Godina, en la comarca del Valdejalón, provincia de Zaragoza, que permita monitorizar el proceso de fitodepuración al mismo tiempo que se compara la efectividad de distintos tipos de plantas en el proceso.



Figura 1 | Ubicación de la planta piloto en la EDAR de La Almunia de Doña Godina.

El primer paso para conseguir una prueba cuyo resultado sea realista y representativo es utilizar agua residual real pero con un régimen suficientemente constante para que su cambio no vaya a producir un efecto que sea significativo en el resultado del tratamiento. Por ello se ha elegido la EDAR de La Almunia de Doña Godina donde se extraerá el caudal suficiente para la depuración una vez que se haya realizado el pretratamiento, con lo que se cumplen los objetivos de volumen y homogeneidad, y se devolverá el agua a cabecera, evitando perjuicios al medio en el caso de que no se logre el rendimiento requerido. El caudal

V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

extraído de la planta actualmente en funcionamiento será el equivalente a 50 habitantes – equivalentes por cada una de las líneas.

La planta piloto estará formada por tres líneas distintas, cada una para el empleo de un tipo de humedal distinto: macrofitas en flotación, flujo superficial y flujo subsuperficial; y cada una de ellas estará dividida en tres partes para probar distintos tipos de plantas: Anea, Junco, Carrizo y Esparganio.

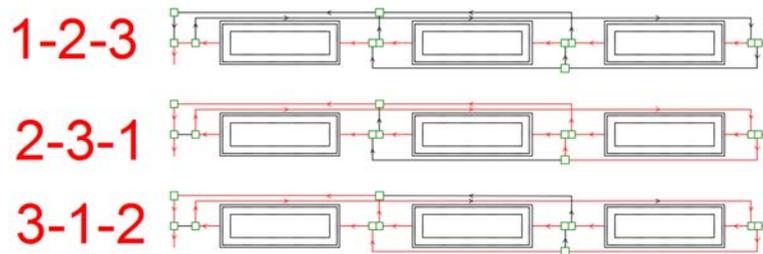


Figura 2 | Esquema de funcionamiento de la Planta Piloto.

El esquema de funcionamiento de la planta piloto permite cambiar el orden de entrada del agua de los canales, de forma que se realizarán pruebas de cuál de las variedades utilizadas resiste mejor el agua más cargada y cual es más efectiva en el tratamiento. Arquetas ubicadas entre los canales servirán para analizar la calidad del agua a la entrada y a la salida, y para derivar el caudal de salida a la balsa que corresponda el siguiente lugar en el tratamiento.

La planta piloto estará en funcionamiento un mínimo de dos años para permitir el desarrollo de las plantas y poder realizar todas condiciones climáticas de las pruebas de funcionamiento necesarias hasta lograr demostrar la viabilidad o no de este tipo de tratamientos en las condiciones climáticas de Aragón.

El objetivo de este trabajo es plantear el alcance y las características más importantes de esta planta piloto, mientras queda para más adelante la descripción de los resultados obtenidos así como del seguimiento y mantenimiento de la instalación.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se lleva a cabo por el interés en el empleo de técnicas de depuraciones blandas y sostenibles del Instituto Aragonés del Agua, para cubrir las necesidades de depuración de los numerosos municipios de reducida población de la Comunidad.

REFERENCIAS

- Bustamante, I., Vera, S., Sanz, J., Alpuente, J., Mateos, J., León, V., López P., Corvea J. L., Larrañaga J. (2005). Tecnologías de depuración de aguas residuales mediante filtros verdes: diseño, funcionamiento, evolución y control de la contaminación de las aguas subterráneas. Encuentro internacional en fitodepuración. 5 de julio, Lorca (Murcia).
- García Serrano, J., Corzo Hernández, A. (2008). Depuración con humedales contruidos. Guía práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial.
- Ortega de Miguel, E., Ferrer Medina, Y., Salas Rodríguez, J. J., Aragón Cruz, C., Real Cruz, Á. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. (M. d. Marino, Ed.) Madrid.

Plan Director del río Huerva

Ruiz, L.J.^{a1} y Gairín, R.^{a2}

^a Departamento de Agua y Medio Ambiente empresa FYSEG, C/ Alustante 1, 28002 Madrid (España).
E-mail: ^{a1} ljrui@sers.es, ^{a2} rgairin@sers.es

Línea temática | Agua y ciudad

RESUMEN

El río Huerva esconde un importante potencial urbanístico y paisajístico a su paso por Zaragoza, dadas la centralidad de su trazado en la ciudad, su condición lineal y su discurrir por algunas de las zonas más importantes de la ciudad.

El Plan Director del río Huerva nace con la intención de establecer una visión estratégica y unitaria de este río en su paso por la ciudad, definiendo los criterios generales que permitan recuperarlo e integrarlo en la realidad urbanística y paisajística de Zaragoza con el objetivo de convertir a este río y sus márgenes en el gran eje norte-sur de la ciudad en su trazado más consolidado, así como en una vía verde de conexión de la capital con los pueblos ribereños y el espacio periurbano.

Objetivos

Los objetivos prioritarios del Plan Director fueron:

- Establecer los criterios para la integración urbanística del río en la ciudad.
- Definir las pautas para la recuperación paisajística del río como ecosistema natural fluvial.
- Recuperar los vínculos sociales, culturales y deportivos entre ciudadanos y río.
- Establecer criterios de gestión y ejecución para la correcta recuperación del río y sus espacios verdes y urbanos asociados.
- Sintetizar todos los documentos anteriormente redactados sobre el río.

Análisis de potencialidades y estado del río

El documento elaborado consta de dos partes claramente diferenciadas. En la primera parte se realizó un análisis del estado y las potencialidades del río y su ámbito y en la segunda parte se realizaron una serie de propuestas urbanísticas y paisajísticas incluyendo medidas de gestión para la recuperación del río Huerva y participación ciudadana.

Se realizaron análisis del río Huerva como vertebrador de los municipios periféricos de la zona sur de la ciudad, de los espacios verdes de la ciudad, de la red de Anillos Verdes y de las posibles extensiones de la red de movilidad norte-sur, así como estudios históricos y de recopilación de otros planes sobre el río. Se examinó urbanísticamente el recorrido del río, estudiando las plazas, los ejes, nudos de comunicación y equipamientos por los que discurre, así como la movilidad urbana asociada.

Por otro lado, también se estudió el río como factor dinámico. Se analizó su comportamiento hidrológico e hidráulico (zonas de ocupación del DPH, servidumbres de paso, zonas en riesgo ante crecidas, caudales ecológicos), se realizaron planos de localización y caracterización de los vertidos directos al río, se llevó a cabo un estudio completo del río desde los aspectos geológicos y geomorfológicos, así como faunísticos, y se elaboraron planos de la vegetación existente que recogen, árbol a árbol, no sólo las especies y su ubicación, sino su propuesta de tratamiento o conservación.

Propuestas de actuación. Líneas estratégicas

A partir de los citados análisis, se desarrollaron las propuestas. Las principales líneas de actuación por las que apuesta el Plan Director del Huerva son las siguientes:

1. Creación de una Calle Verde norte-sur en la ciudad, que siga el trazado del río, y que suponga un nuevo eje de movilidad continuo, peatonal y ciclista, definido con una serie de andadores, de áreas con nuevos usos urbanos, de estrategias para alcanzar un nuevo frente edificado, y de elementos identificativos que le permitan ser reconocida por los ciudadanos en cualquier punto de conexión.



Figura 1 | Vista general de la "Calle Verde" del río Huerva y detalle de eje de movilidad

2. Creación de un ecosistema natural en la ciudad, a través del río, estableciendo mediante el PGOU un espacio natural protegido que englobe al río y su ámbito de influencia. Para ello es necesaria la recuperación de los espacios verdes pertenecientes al río, la regeneración del cauce (recogida y tratamiento de vertidos, saneamiento de la vegetación), la mejora de la accesibilidad y seguridad, y la sostenibilidad y la consecución de cero emisiones en las obras y elementos a incluir (alumbrado sostenible, capacidad de generación eléctrica en el Ojo del Canal para alumbrado, pavimento de absorción de contaminantes,...).
3. Generación de Plazas de Intercambio de Movilidad en puntos de conexión de los diferentes ejes y elementos de movilidad ciudadana que articulará la Calle Verde; plazas existentes en la ciudad, por las que pasa el río, que pueden funcionar a modo de grandes intercambiadores entre el coche, el autobús, el tranvía, la bicicleta y el peatón.
4. Trazado de una Vía Verde del Huerva: esta vía, con un diseño preliminar, propone superar los límites del T.M. de Zaragoza y constituirse en una vía verde del Huerva hasta el embalse de Mezalocha, en paralelo al río, con actuaciones específicas en espacios del recorrido (instalaciones de land-art, merenderos, zona de baños, recorridos de paseo a caballo, restos de interés turístico y conexión de los pueblos ribereños y sus atractivos interculturales...).

Integración de nowcasting radar y modelización 1D/2D en un sistema de alerta temprana para inundaciones en medio urbano

Russo, B. X.^{a1,b}, Llord, X.^{c1}, Sánchez, P.^{a2}, Rodríguez A.^{c2}

^aAquatec (SUEZ Advanced Solutions). Paseo de la Zona Franca, 46-48, 08038, Barcelona, España. Email: ^{a1}brusso@aquatec.es;

^{a2}psanchez@aquatec.es

^bGrupo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA). Escuela Politécnica de La Almunia (EUPLA). Universidad de Zaragoza. Calles Mayor s/n · 50100 La Almunia de Doña Godina (Zaragoza), España. Email: ^bbrusso@unizar.es

^cHidrometeorological Innovative Solutions, Jordi Girona 1-3 k2m-005, 08034, Barcelona. Email: xavi.llort@hyds.es ; alvaro.rodriguez@hyds.es

Línea temática: Agua y ciudad.

RESUMEN

Las inundaciones urbanas están entre los fenómenos naturales más devastadores debido a la alta concentración de personas, viviendas y bienes localizados en estas áreas. En casos de inundaciones producidas por eventos de lluvias extremos, los caudales de escorrentía pueden circular por las calles de nuestras ciudades de forma incontrolada si la capacidad del sistema de drenaje superficial o subterráneo se ve superada generando condiciones de inseguridad para la circulación vehicular y peatonal, así como ingentes daños económicos.

En este trabajo se muestra el desarrollo de un sistema de alerta temprana (SAT) para inundaciones urbanas que enlaza estimaciones de lluvia en base a radar meteorológico con un modelo numérico de drenaje dual y que permite la simulación conjunta del flujo unidimensional en alcantarillado y del flujo en superficie en dos dimensiones (modelo acoplado 1D/2D) en tiempo real. Este sistema de alerta temprana ha sido desarrollado para la cuenca de la Represa de la ciudad de Marbella elegida entre los casos de estudio del Proyecto europeo PEARL (Preparing for Extreme And Rare events in coastal regions) financiado por la Unión Europea a través del Séptimo Programa Marco.

Aunque las estimaciones de lluvia en base a radar pueden sufrir de diversas fuentes de error, representan la manera más rápida de obtener estimaciones de lluvia con una alta resolución espacial y temporal para las próximas horas mediante técnicas de “nowcasting”. Estas estimaciones a corto plazo son cruciales en la previsión de inundaciones urbanas donde los tiempos de respuesta hidrológica de las cuencas son usualmente muy cortos.

En el caso de Marbella, se ha aplicado un proceso de corrección a las estimaciones de lluvia mediante radar para asegurar su valor cuantitativo y se ha aplicado una técnica de “nowcasting” para obtener una previsión de las próximas dos horas de la lluvia (Berenguer *et al.*, 2015; Berenguer *et al.* 2011). Esta serie de campos de lluvia de alta resolución (tanto temporal como espacial) se ha usado con dos objetivos:

- Calcular la lluvia que potencialmente se acumulará en un futuro inmediato en un entorno dinámico de los puntos de control.
- Alimentar un modelo acoplado 1D/2D en tiempo real para simular el comportamiento hidráulico de la red y los parámetros del flujo en superficie, calado y velocidad, que son los parámetros normalmente empleados para evaluar la peligrosidad de una corriente.

Además, se ha desarrollado una plataforma web para mostrar la información y a la vez gestionar la configuración del sistema de alertas (puntos de interés, umbrales de alerta sobre lluvia prevista o sobre variables del modelo hidráulico, dispositivos de aviso – SMS, correos electrónicos–, etc.). La plataforma puede mostrar de forma dinámica la información georreferenciada en tiempo real (mapas de peligrosidad), incluyendo la lluvia observada y la prevista, y las alertas generadas que pueden ser diseminadas mediante SMS o correo electrónico.

El modelo 1D/2D, desarrollado y calibrado por la empresa Aquatec a través del software Infoworks ICM cubre una superficie de 10.6 km² y 68 km de red y simula, al mismo tiempo, el comportamiento hidráulico de la red de drenaje (modelo

1D) y los parámetros del flujo, calado y velocidad, en superficie (modelo 2D). La integración del modelo hidráulico 1D/2D en el SAT se puede realizar a dos niveles:

- Los datos de lluvia en tiempo real (observados y previstos) se enlazan con mapas pre-calculados off-line (calados, velocidades o directamente mapas peligrosidad para personas y bienes materiales). De esta manera, según los umbrales de lluvia, se muestran dinámicamente los mapas asociados.
- El modelo hidráulico se encapsula en la nube y se ejecuta con datos actualizados cada vez que estos están disponibles (observaciones de radar, previsiones en base a radar y observaciones de pluviómetros). a través de un módulo específico (ICM Exchange). Los datos de los sensores también se han integrado en el sistema. En este caso, el SAT en tiempo real y el servidor del modelo hidráulico se enlazan mediante carpetas compartidas, traductores de formato y un sistema de lanzamiento automático cada vez que es necesario (Figura 1).

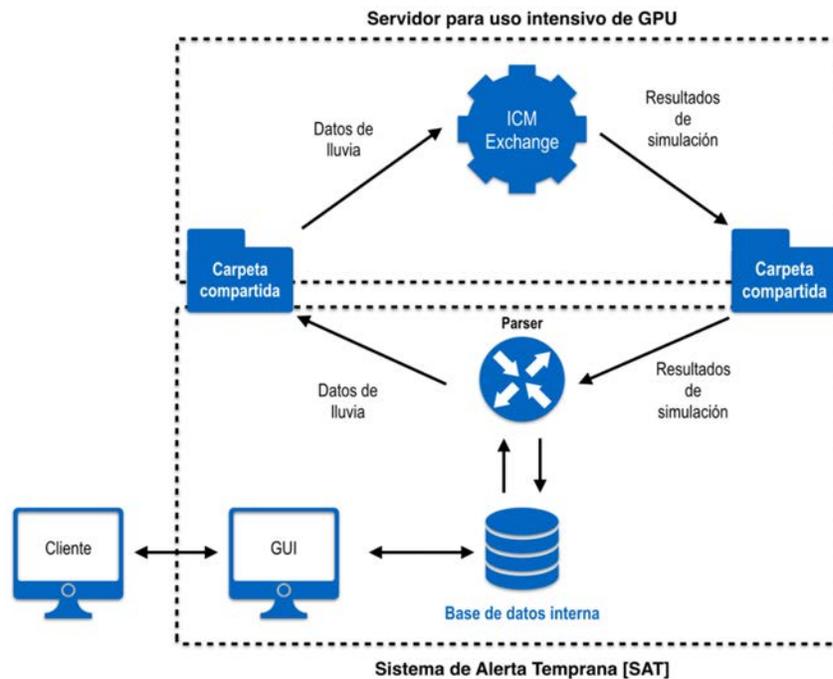


Figura 1 | Enlace del modelo hidráulico con el SAT en tiempo real.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro de la actividad del proyecto europeo PEARL (Preparing for Extreme and Rare events in coastal regions) financiado por la Unión Europea dentro del Séptimo Programa Marco - Grant Agreement 603663.

REFERENCIAS

- Berenguer, M., C. Corral, R. Sánchez-Diezma, y D. Sempere-Torres, 2005: Hydrological Validation of a Radar-Based Nowcasting Technique. *Journal of Hydrometeorology*, 6, 532–549.
- Berenguer, D. Sempere-Torres y G.G.S Pegram, 2011: SBMcast—An ensemble nowcasting technique to assess the uncertainty in rainfall forecasts by Lagrangian extrapolation. *Journal of Hydrology*, 404, 226-240.

Sectorización de redes de distribución de agua según criterios de eficiencia energética

Salguero, F.J.^a, Cobacho, R.^b y Pardo, M.A.^c

^aGlobal Omnium. Gran Vía del Marqués del Turia, nº 19 46005, Valencia, España. Email: fjsalguero@globalomnium.com, ^b ITA, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, C/Camino de Vera s/n. 46022, Valencia, España. Email: rcobacho@ita.upv.es y ^cINGHA, Dept. de Ingeniería Civil, Univ. de Alicante, San Vicente del Raspeig, PO BOX 99, 03080, Alicante, España. Email: mpardo@ua.es

Línea temática | Agua y Ciudad

RESUMEN

Los sistemas de distribución de agua potable de las ciudades se han convertido en grandes infraestructuras complejas compuestas por miles de tuberías de todos los calibres y materiales, miles de nudos de consumo y decenas de puntos de regulación y producción, cuyo punto de funcionamiento varía diariamente en función de las demandas. Todo esto convierte a la gestión de los mismos en un trabajo nada trivial y que agudiza cada año si no se producen inversiones para la renovación de las infraestructuras. Asimismo, el envejecimiento de las mismas no ayuda al gestor a abordar uno de los principales problemas de la gestión de los sistemas de distribución de agua a presión: el volumen incontrolado fugado (IWA, 2000), cuyo valores en España totalizan una cuarta parte del volumen anual suministrado en las redes de abastecimiento (INE, 2016) y puede sobrepasar el 50% del total, como en Bytom, Polonia (Wojciech and Krzysztof, 2012).

Para evitar el derroche de un elemento tan preciado y escaso como el agua, se han delineado múltiples opciones estratégicas, entre las cuales destaca la sectorización de las redes. Una técnica estratégica que plantea la división de la red en varias subredes más pequeñas (sectores o Distric Metered Area (DMA) (Tzatchkov et. al, 2014) sobre las cuales se mide todo el volumen que entra y sale de la delimitación sectorial para poder facilitar la detección de roturas y anomalías y el control de los volúmenes incontrolados fugados.

Pero el principal inconveniente que presenta la sectorización es que no hay un procedimiento estándar para su diseño, sino que se definen de forma empírica e influenciada por la experiencia del propio gestor. Si en algo coinciden la mayoría de los autores que abordan esta técnica, desde un punto de vista u otro, es en la complejidad de la fase de diseño de la misma (Alvisi and Franchini, 2015) debido a la gran cantidad de criterios que intervienen (tipo de red, tipo y número de abonados, materiales, trazados, diámetros, avenidas principales, otros tipos de infraestructuras, etc). Este hecho puede conllevar resultados negativos sobre los sistemas de distribución, como indican Armand, Stoianov y Graham (2015) al afirmar que la calidad del agua en la fase de diseño queda descuidada o como el caso expuesto por Di Nardo y Di Natale (2010) donde se incrementa la presión media en uno de los sectores planteados. Para la definición de la sectorización de una red existe una serie de recomendaciones, pero que tan solo orientan en una primera delimitación de los sectores y que dejan margen para la elección del diseñador. Por ejemplo, en el caso del tamaño del sector, MacDonalds (2005) recomienda sectores que engloben 2.500 acometidas, frente a las 1.000-2.500 de Farley et al. (2008) o las 500-5.000 de Grayman et al. (2016).

Con el objetivo de automatizar dicho diseño, eliminar la subjetividad implícita en las decisiones heurísticas y potenciar la componente técnica, se plantea en este trabajo una metodología basada en los conceptos energéticos presentados por Boulos (2010) y que da como resultado una delimitación clara de cada uno de los sectores dentro de la red. La metodología propuesta se basa en la teoría de grafos y organiza los nudos y tuberías de tal forma que la eficiencia energética de los elementos de cada grupo sea lo más homogénea posible entre sí y dispar del resto de elementos. Como resultado se obtendrá la delimitación de unas zonas donde las reducciones de energía disponible será igual o mayor que en el caso de las distribuciones resultantes según criterios puramente prácticos, y por lo tanto mayores las reducciones del volumen incontrolado fugado. Para mostrar los resultados obtenidos se muestran dos redes de distribución de agua a presión, la primera de ellas es de tipo sintético, compuesta por 65 tuberías y 38 nudos de consumo, cuyo empleo tiene por objeto mostrar los procesos de cálculo y los pasos seguidos de V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

manera sencilla, y un sistema de distribución real de mayor tamaño, sobre el cual se analizarán los resultados conseguidos empleando para ello los indicadores energéticos (Cabrera, 2010) y comparando los tamaños resultantes de los diferentes sectores con el tamaño óptimo bajo la óptica del coste de campaña de búsqueda de fugas planteado por Hunaidi (2005).

REFERENCIAS

- Alvisi, S., Franchini, M. 2014. A procedure for the design of district metered areas in water distribution systems. *Procedia Engineering*, 70, 41-50. doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.006
- Armand, H., Stoianov, I., Graham, N. 2015. Investigating the impact of sectorized networks on discoloration. *Procedia Engineering*, 119, 407-415. doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.902
- Boulos, P. F., Bros, C. M. 2010. Assessing the carbon footprint of water supply and distribution systems. *American Water Works Association Journal*, 102(11), 47.
- Cabrera, E., Pardo, M. A., Cobacho, R., Cabrera, E., Jr. 2010. Energy audit of water networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136 (6), 669–677. dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000077
- Di Nardo, A., Di Natale, M. 2010. A design support methodology for district metering of water supply networks. In Proc. of the 12th Annual International Conference on Water Distribution Systems Analysis (pp. 870-877). dx.doi.org/10.1061/41203(425)80
- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., Sigh, S. 2008. The Manager's Non-Revenue Water Handbook. *A Guide to Understanding Water Losses*, Ranhill Utilities Bernhad and USAID, Malaysia.
- Grayman, W. M., Murray, R., Savic, D. A., Farmani, R. 2016. Redesign of Water Distribution Systems for Passive Containment of Contamination. *American Water Works Association*. Jul2016, Vol. 108 Issue 7. dx.doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0105
- Hunaidi, O. 2005. Economic comparison of periodic acoustic surveys and dma-based. In *Leakage 2005 Conference Proceedings*, pages 322–336, 2005.
- INE 2016. Encuesta sobre el suministro y saneamiento del agua. Recuperado el 5 del 4 de 2017 http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602
- IWA, International Water Association 2000. *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. IWA, International Water Association-Task Force on Water Losses, London, 2000.
- MacDonald, G., Yates, C. D. 2005. DMA design and implementation, a North American context. In *Leakage 2005, Specialized Conference Proceedings*.
- Tzatchkov, V., Alcocer, V., Bourguett, V. Arreguín, F. López, JA. 2014. *Avances en la hidráulica de redes de distribución de agua potable*. México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. ISBN: 978-607-9368-11-1.
- Wojciech, K. Krzysztof, D. 2012. Sectorisation, reduction and stabilisation of pressure as a key to control and decrease of leakage. Case study from Bytom, Poland. *Water Loss 2012*. Manila, Philipinnes.

Comparación de métodos de análisis de imágenes para determinar campo de velocidades aplicado a las rejillas del alcantarillado.

Jackson Tellez-Alvarez^a, Manuel Gómez^b, Beniamino Russo^c y Federico Zanon^d

^a E.TS. Enginyers de Camins, Canals i Ports. Institut Flumen. Universitat Politècnica de Catalunya. Edificio D1. 08034 Barcelona. jackson.david.tellez@upc.edu

^b E.TS. Enginyers de Camins, Canals i Ports. Institut Flumen. Universitat Politècnica de Catalunya. Edificio D1. 08034 Barcelona. manuel.gomez@upc.edu

^c Grupo de Investigación en Ingeniería Hidráulica e Hidrología (GIHA) (EUPLA –Universidad de Zaragoza). Calle Mayor s/n, La Almunia de Doña Godina, 50100, Zaragoza. brusso@unizar.es

^d Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (ICEA). Università degli studi di Padova. Calle Marzolo 9, 35131 Padova, Italia. federico.zanon.4@studenti.unipd.it

Línea temática | Agua y ciudad.

RESUMEN

Los grandes cambios urbanísticos de las últimas décadas en nuestras ciudades han modificado significativamente su respuesta hidrológica frente a un evento de lluvia. Estos cambios normalmente generan incrementos considerables en las velocidades del flujo de agua de lluvia en las zonas con pendientes pronunciadas, incrementan el volumen de escorrentía y los caudales máximos, y disminuyen el tiempo de concentración causando importantes problemas de inundación. Uno de los mayores problemas que presenta el medio urbano durante un suceso de lluvia es la captación, por parte del sistema de drenaje superficial, de los caudales de escorrentía producidos durante un evento de lluvia extremo. Un mal funcionamiento de este sistema ocasiona inundaciones en dicho medio suponiendo cuantiosos daños económicos e incluso puede generar pérdidas de vida humanas.

Teniendo en cuenta que la función de captar el caudal e introducirlo en la red de drenaje la tienen las rejillas, imbornales o sumideros, podemos decir que la capacidad hidráulica de un imbornal depende de la geometría de la rejilla, la geometría de la calle y el caudal de circulación de la misma. En los últimos años el Instituto Flumen del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (DECA) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) ha venido trabajando en experimentos sobre estimación de la capacidad hidráulica de diferentes tipos de rejillas con geometrías de calles específicas replanteadas en un modelo físico a escala real en una plataforma para el ensayo de imbornales ubicada en el Laboratorio de Hidráulica de la UPC.

Profundizando más en la investigación de los elementos de captación del flujo en superficie, se desarrolló una técnica llamada Surface Flow Image Velocimetry (SFIV) para la obtención del campo de velocidades a partir del procesado de imágenes del flujo en superficie en la proximidad de las rejillas de captación (Tellez *et al.* 2015; 2016). El equipo para la obtención de estas imágenes consta de una cámara de alta resolución y velocidad además de un ordenador de gran capacidad donde se efectuó el análisis de imágenes a través de la aplicación del programa de procesamiento avanzado para mecánica de fluidos llamado Digiflow, desarrollado por el Departamento de Matemática Aplicada y Teoría Física de la Universidad de Cambridge y Dalziel Research Partners (Dalziel, 2012).

Con el fin de seguir en la misma línea de investigación y comparar los resultados con Digiflow, se utilizó también un código libre de análisis de imágenes llamado PIVlab desarrollado por la Universidad de Groningen de Holanda. (Thielicke *et al.*, 2014), escrito en el lenguaje de cálculo técnico MATLAB.

Un objetivo importante era la comparación de los campos de velocidades y caudales captados a través de la técnica SFIV que pudiera ayudar a los fabricantes a conocer mejor la eficiencia de sus rejillas (Figura 1). Además de esto, se podría convertir en una técnica de visualización en hidráulica experimental que puede sencillamente utilizarse en distintos campos para determinar calados, campos de velocidades y patrones de transporte de sedimentos.

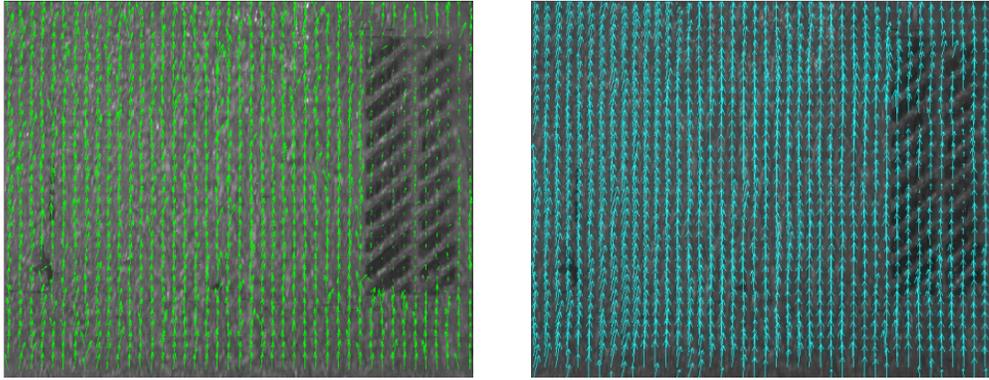


Figura 1 | Campo de velocidades, Caudal: 200 l/s. Pendiente longitudinal 10% Pendiente transversal 4%. Izquierda: PIVlab. Derecha: DigiFlow

La comparación se estableció con los mismos videos capturados durante la campaña experimental con una cámara de alta resolución y velocidad capaz de tomar videos de hasta 488 fotogramas por segundos y una resolución de 1280 x 1024 pixeles. Las imágenes fueron tomadas en una zona de ensayo limitada de la plataforma anteriormente mencionada con unas dimensiones de 5,5 m de largo por 4 m de ancho que permite una zona de ensayo útil de una franja de 1.5 m de largo por 3 m de ancho, cerca del imbornal. La plataforma permite modificar las pendientes longitudinales de 0% a 10% y transversal de 0% a 4%. El caudal máximo ensayado es de 200 l/s.

Teniendo en cuenta que ambos programas de cálculo tienen algoritmos distintos, pero siguen un procedimiento similar al de la velocimetría de partículas (PIV), en ambos casos se aplicó la técnica SFIV para el flujo en superficie, sin añadir partículas como trazadores y validando los resultados con datos experimentales de medida de calados y caudales captados por la reja. La metodología propuesta puede convertirse en una herramienta útil para entender el comportamiento hidráulico del flujo en los alrededores de una reja de captación donde los equipos de medición tradicionales tienen serios problemas y limitaciones y para otros tipos de flujos caracterizados por láminas de agua con calados pequeños.

REFERENCIAS

- Dalziel R. P. (2012). DigiFlow User Guide. Cambridge, England: Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics (DAMTP) - University of Cambridge.
- Tellez J., Gómez. M., Russo M., Redondo, J.M. 2016. "Surface Flow Image Velocimetry (SFIV) for Hydraulics Applications" In 18th International Symposium on the Application of Laser and Imaging Techniques to Fluid Mechanics. July 4-7. Lisbon, Portugal.
- Tellez J., Russo, B., Gómez, M. 2015. "Técnica para la obtención del campo de velocidad del flujo superficial en proximidad de rejillas de alcantarillado". IV Jornadas de Ingeniería Del Agua, 21 y 22 de octubre, 2015. Córdoba, España.
- Thielicke W., Stamhuis, E. J. (2014). PIVlab - Time-Resolved Digital Particle Image Velocimetry Tool for MATLAB (version: 1.41).

OVALPIPE II. Mejora de la eficiencia de redes de saneamiento mediante sistemas de tubos ovoides

Vázquez-Sánchez, J.A.^a, Piñeiro, J.M.^a, Rosa-Ariza, D.^a, Lorenzo-Magaz, S.^a, Anta, J.^b, Suárez, J.^b, Puertas, J.^b, Castro-López, M.M.^c, Noguerol-Cal, R.^c, Vázquez, R.^d

^aGrupo ABN. Ctra. Baños de Arteixo, 28. Parque Empresarial A Grela. A Coruña. E-mail: javazquez@grupoabn.com; jmpineiro@grupoabn.com; drosa@grupoabn.com; slorenzo@grupoabn.com

^bGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: jose.anta@udc.es; jsuarez@udc.es; jeronimo.puertas@udc.es.

^cCentro Tecnológico de Investigación Multisectorial – CETIM. Rúa As Carballeiras, s/n. Edificio CICA. Campus de Elviña. A Coruña. E-mail: mcastro@fundacioncetim.com; rnoguerol@fundacioncetim.com

^dEmpresa Municipal de Aguas de La Coruña – EMALCSA. Edificio Casa del Agua, Rúa Manuel Murguía, s/n. A Coruña. E-mail: rvazquezp@emalcsa.es

Línea temática | Agua y Ciudad

RESUMEN

El objetivo de esta ponencia es presentar los resultados alcanzados dentro del proyecto OVALPIPE II el cual considera la mejora de la eficiencia energética de las redes de saneamiento a través de innovadores desarrollos de tubos ovoides más eficientes mecánica e hidráulicamente, así como de la innovación en la metodología de fabricación de los mismos.

La acumulación de sedimentos en las tuberías de saneamiento y drenaje es una de las principales y más comunes problemáticas de los sistemas de saneamiento. Debido a los procesos de acumulación de sedimentos las conducciones pierden capacidad hidráulica, que pueden favorecer los episodios de inundación de las cuencas. La acumulación de sedimentos de naturaleza orgánica pueden producir la generación de metano y sulfhídrico, además de olores. Otros problemas que se producen en tiempo de lluvia están relacionados con los desbordamientos de los sistemas de saneamiento y el tratamiento en las EDAR.

Todos estos aspectos se han considerado en el proyecto OVALPIPE II, y han llevado a la necesidad de la búsqueda de nuevos desarrollos mejorados tanto mecánica como hidráulicamente, con viabilidad económica y competitivos con los actuales sistemas de conducción circulares, que permitan salvar dicha problemática. Además, se ha considerado la mejora de la tecnología de producción (hacia sistemas tradicionales de extrusión pero adaptados a nuevos desarrollos tecnológicos) orientados hacia la fabricación de tuberías en grandes tiradas y fabricación en continuo. Todo ello, llevará asociado una importante reducción de los costes de fabricación, instalación y mantenimiento (p.ej. reduciendo las campañas de limpieza de las redes).

La constante apuesta del Grupo ABN por la I+D+i, soportado tanto por el grupo GEAMA como por CETIM y con la colaboración de EMALCSA ha llevado al desarrollo de nuevos tubos de sección ovoide como sustitutos de los actuales sistemas circulares convencionalmente empleados. Aunque el uso de conducciones ovoides no es ninguna novedad en el mundo del saneamiento urbano, esta tipología ha perdido una parte importante de su implantación a favor de los tubos circulares, a pesar de que en algunas condiciones su funcionamiento es mejor, como por ejemplo aquellos relacionados con su capacidad de autolimpieza y capacidad portante. El motivo fundamental es la facilidad de la fabricación de tubos circulares de pequeño diámetro (entre 300 y 500 mm), frente a la dificultad de construir tubos ovoides competitivos en el mercado.

En una primera fase del proyecto se ha llevado a cabo el diseño geométrico e hidráulico del nuevo tubo ovoide basándose para ello en criterios de optimización tecnológica de las secciones con un perfil que en su coronación superior incluya un semicírculo homologable (o directamente igual) a diámetros comerciales comprendidos entre 300 y 500 mm. Ello además ha permitido la obtención de una relación altura-anchura concordante con las normas internacionales existentes. La posibilidad de empleo de la tecnología convencional de extrusión para la obtención de tuberías ovoides redundará en la obtención de largas tiradas de modo sencillo y económico. Comercialmente dicha metodología no ha sido desarrollada hasta el momento actual, y el proyecto OVALPIPE II se ha focalizado en la adaptación de las líneas de extrusión y el diseño, obtención e implementación de

los diferentes elementos del sistema extrusor para la fabricación de tuberías ovoides. Los primeros resultados son las tuberías preliminares mostradas en la Figura 1ª, que serán mejoradas durante el proyecto. De igual modo, en esta fase de desarrollo también se están analizando distintas tipologías y mezclas de materiales poliméricos y aditivos para dotar a la conducción de la rigidez, resistencia al impacto, impermeabilidad, estanqueidad, resistencia química o la abrasión, necesarias para este tipo de conducciones.



Figura 1 | Ejemplo de un prototipo de la sección ovoide desarrollada en el proyecto (a) y comparación de la formación de lechos de sedimentos en una tubería circular y su sección ovoide equivalente (b)

Por otra parte, se están desarrollando una serie de ensayos de modelización física y numérica de la tubería ovoide OVALpipe. Los primeros ensayos realizados sobre la Plataforma Científica de Ensayos para Conducciones con Agua Residual Urbana, de la EDAR de Bens se basaron en la instalación de dos tuberías en paralelo con geometrías de sección diferente. El objetivo era comparar un conducto circular convencional de PVC con un diámetro interior de 300 mm con un tubo de sección OVALpipe equivalente. Con respecto a la acumulación de sedimentos, se constató que en la tubería OVALpipe no se formaron lechos de sedimentos para las condiciones hidráulicas analizadas, mientras que en la conducción circular aparecían depósitos de sedimentos a los pocos de días de ensayo (ver Figura 1b).

Por tanto, la obtención de **tuberías ovoides** destinadas al sector de saneamiento, más eficientes hidráulica y mecánicamente y con un coste competitivo en el actual mercado, supone una solución innovadora que permite mejorar toda la problemática asociada a los actuales sistemas de saneamiento e implementar sistemas de alta eficiencia técnica y medioambiental de rápida y fácil introducción en el mercado.

AGRADECIMIENTOS

Dicho proyecto ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través de la convocatoria RETOS-Colaboración 2016 en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016.



Se agradece la colaboración de la Empresa Municipal de Aguas de La Coruña – EMALCSA en el desarrollo del proyecto y a EDAR-BENS por facilitar sus instalaciones.

IoT aplicado a los sistemas de agua urbana

Vázquez, R.^{a1}, Orejón, J.M.^{a2} y Pardo, J. Jesús^b

^{a1}EMALCSA, Director IDI, Empresa Municipal Aguas de La Coruña, S.A. (Manuel Murguía, s/n – CASA DEL AGUA). E-mail: rvazquezp@emalcsa.es

^{a2}EMALCSA, Director Técnico, Empresa Municipal Aguas de La Coruña, S.A. (Manuel Murguía, s/n – CASA DEL AGUA). E-mail: jmorejong@emalcsa.es

^bTECDESOFT, Director de Operaciones, Polígono de Pocomaco, 5ª avenida-Parcela E18. E-mail: juanjesus-pardo@tecdesoft.es

Línea temática | Agua y Ciudad

RESUMEN

En los últimos años la irrupción de la IoT (*Internet of Things*), ha cambiado el paradigma del modo de gestionar los sistemas hidráulicos que sustentan los servicios de agua urbana (abastecimiento y saneamiento). Los sistemas de monitorización permiten un conocimiento exhaustivo del funcionamiento y las rutinas de los sistemas que integran las infraestructuras de los servicios de agua y saneamiento. Este conocimiento permite ajustar cada vez mas el dimensionamiento de los mismos y, por supuesto, su desempeño diario para cubrir las necesidades de las poblaciones servidas.

La ciudad de La Coruña ha desarrollado en los últimos 15 años un intensivo programa de incorporación de las TIC al sistema de abastecimiento. Este camino se ha visto acelerado en los últimos 3 años con la inyección de mas de 4 M€ dentro del proyecto CORUÑA SMART CITY, lo que ha permitido alcanzar un nivel de implantación de sistemas de monitorización y control relativamente alto para lo que disponen de ciudades similares.



Figura 1 | Esquema del abastecimiento y saneamiento metropolitano de A Coruña

Como consecuencia de ese desarrollo se han definido 7 escenarios de monitorización que definen el proceso de incorporación de la IoT a los sistemas de abastecimiento y cubren todo el ciclo de cara a garantizar tanto la calidad del servicio, la del agua suministrada, así como su aseguramiento de cara al servicio a los clientes.

Los seis escenarios que definen la ruta de la digitalización de los sistemas de abastecimiento y saneamiento son:

1. Open data externo: sistema meteorológico
2. Sistemas de control en reservas de agua: Calidad y Cantidad
3. Sistemas de control en plantas de potabilización.
4. Sistemas de monitorización en redes de distribución: bombeos y sectorización.
5. Sistemas de monitorización de entrega de agua: telelectura y control de consumos.
6. Sistema de monitorización de alcantarillado.
7. Sistema de control de plantas de depuración.

La interrelación entre estos escenarios mediante la aplicación de sistemas expertos permitirá en el futuro la optimización de los sistemas y la planificación de las inversiones, así como la optimización de costes de operación y el aseguramiento del abastecimiento y saneamiento mediante la información predictiva derivada del manejo de los *big data* resultantes a largo plazo.

REFERENCIAS

Las referencias a esta ponencia se identifican en los trabajos desarrollados en el ámbito de la monitorización y los desarrollos de sistemas de conocimiento asociados en la Empresa Municipal de Aguas de La Coruña (EMALCSA), durante los últimos 15 años y, en particular, con el desarrollo que los sistemas expuestos han alcanzado en el marco de los pilotos asociados al ciclo del agua dentro del proyecto CORUÑA SMART CITY, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad en el marco de los FONDOS FEDER.

Modelación matemática del tratamiento del efluente de un Biorreactor Anaerobio de Membranas (AnMBR)

Yeste, P.^{a1} y Barat, R.^{a2}

^{a1}Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA). Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia, España. E-mail: ^{a1}patyesdo@posgrado.upv.es, ^{a2}rababa@dihma.upv.es

Línea temática | Agua y ciudad

RESUMEN

Los tratamientos anaerobios representan una opción muy interesante para el tratamiento de aguas residuales que ha captado la atención de la comunidad científica debido a sus ventajas con respecto a los tratamientos aerobios convencionales (Henze et al., 2008; Giménez et al., 2011). Por lo general, este tipo de tratamientos se aplican en aguas residuales con una elevada carga orgánica, siendo la digestión de fangos y el tratamiento de aguas residuales industriales las aplicaciones más típicas. Entre las tecnologías que permiten aplicar un tratamiento anaerobio, los Biorreactores Anaerobios de Membranas (AnMBR) constituyen una alternativa prometedora para ser aplicada en la línea de aguas de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas (Giménez et al., 2011).

El efluente de un reactor AnMBR se caracteriza por una alta concentración de nutrientes (NH_4^+ , PO_4^{3-}) como consecuencia de la mineralización de los compuestos orgánicos, una concentración moderada de ácidos grasos volátiles y metano disuelto y una concentración de sulfuro elevada (Henze et al., 2008). Esto hace que en muchos casos el efluente de este tipo de reactores no pueda ser vertido a un medio receptor o reutilizado, siendo necesario aplicar un tratamiento posterior adecuado.

La modelación matemática del tratamiento de aguas residuales supone una herramienta muy potente que permite entender el comportamiento del sistema y facilita el diseño de plantas de tratamientos y de experimentos. Así, el objetivo principal de este trabajo ha consistido en la modelación matemática de los procesos físicos, químicos y biológicos que permiten eliminar los contaminantes presentes en el efluente de un reactor AnMBR. El desarrollo del modelo matemático se ha articulado atendiendo a la eliminación de materia orgánica y nutrientes, la eliminación de sulfuro y la eliminación de metano, y ha sido implementado en el software MatLab 2012b.

El modelo matemático para la eliminación de materia orgánica y nutrientes se ha elaborado a partir del modelo global Biological Nutrient Removal Model n°2 (Barat et al., 2013) que está implementado en el software DESASS desarrollado por el grupo CALAGUA de la Universidad Politécnica de Valencia. Se han tenido en cuenta los procesos propios de los microorganismos heterótrofos, los microorganismos amonio-oxidantes, los microorganismos nitrito-oxidantes y los microorganismos acumuladores de polifosfatos. Igualmente se han considerado los procesos de desabsorción de gases y los procesos de equilibrio químico que permiten evaluar el efecto del pH. Todo esto hace un total de 24 procesos biológicos, 6 procesos de desabsorción y 21 procesos de equilibrio químico.

Por su parte, la eliminación de sulfuro se fundamenta en la actividad de las microorganismos sulfuro-oxidantes (Mora et al., 2016) y en la actividad de los microorganismos autótrofos desnitrificantes (Mora et al., 2015a; 2015b). Todos los procesos de crecimiento de estos microorganismos se caracterizan por emplear como fuente de carbono el carbono inorgánico, por lo que no es necesario adicionar compuestos orgánicos para conseguir la eliminación de azufre. A modo de ejemplo, la estequiometría de los procesos asociados a los microorganismos sulfuro-oxidantes viene recogida en la Tabla 1:

Tabla 1 | Estequiometría de los procesos asociados a los microorganismos sulfuro-oxidantes.

Componentes → Procesos ↓	S _{O2} mg O ₂ /l	S _{S2-} mg S/l	S _{S0} mg S/l	S _{TS} mg S/l	S _{SO4} mg S/l	X _{SO} mg DQO/l
1) Crec. X _{SO} - S ²⁻	-5.25	-12.50	12.50	0	0	1
2) Crec. X _{SO} - S ⁰	-4.26	0	-3.51	0	3.51	1
3) Crec. X _{SO} - S ₂ O ₃ ²⁻	-4.63	0	0	-5.63	5.63	1
4) Producción de S ₂ O ₃ ²⁻	-1	-1	0	1	0	0

Donde S_{O2} es la concentración de oxígeno, S_{S2-} es la concentración de sulfuro, S_{S0} la concentración de azufre elemental, S_{TS} la concentración de tiosulfato, S_{SO4} la concentración de sulfato y X_{SO} la concentración de microorganismos sulfuro-oxidantes, con las unidades indicadas. Los tres primeros procesos de la tabla se corresponden con el crecimiento de los microorganismos sulfuro-oxidantes empleando como dadores de electrones sulfuro, azufre elemental y tiosulfato, respectivamente. El último proceso consiste en la formación de tiosulfato por oxidación química del sulfuro. En total, la eliminación de sulfuro viene dada por un conjunto de 12 procesos. La eliminación de metano vía biológica es llevada a cabo por microorganismos metanotróficos, que se caracterizan por una reducida velocidad de crecimiento (Chen et al., 2014). También se elimina metano mediante el proceso de desabsorción, haciendo un total de 5 procesos.

Una vez desarrollado el modelo se ha realizado un análisis de sensibilidad mediante el método de los coeficientes de regresión estandarizados (Sin et al., 2011). Para ello se ha aplicado un análisis de Montecarlo definiendo un espacio paramétrico sobre el que han extraído muestras aplicando la metodología del hipercubo latino, y seguidamente se han realizado simulaciones con cada una de las muestras. Las series temporales producto de las simulaciones han sido analizadas para determinar la sensibilidad del modelo a cada uno de los parámetros. Los resultados de este trabajo demuestran que el modelo desarrollado reproduce adecuadamente los datos experimentales consultados en la bibliografía y que puede ser empleado para el diseño de ensayos en laboratorio, el dimensionamiento de plantas piloto o incluso de plantas de tratamiento a mayor escala.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin la financiación del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, a través de una beca general para estudiar el 2º curso del Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente en la UPV.

REFERENCIAS

- Barat, R., Serralta, J., Ruano, M.V., Jiménez, E., Ribes, J., Seco, A., Ferrer, J. 2013. Biological Nutrient Removal Model N°2 (BNRM2): A general model for Wastewater Treatment Plants. *Water Science and Technology* 67(7), 1481-1489. doi:10.2166/wst.2013.004.
- Chen, X., Guo, J., Shi, Y., Hu, S., Yuan, Z., Ni, B.J. 2014. Modeling of simultaneous anaerobic methane and ammonium oxidation in a membrane biofilm reactor. *Environmental Science & Technology* 48, 9540-9547.
- Giménez, J.B., Robles, A., Carretero, L., Durán, F., Ruano, M.V., ..., Seco, A. 2011. Experimental study of the anaerobic urban wastewater treatment in a submerged hollow-fibre membrane bioreactor at pilot scale. *Bioresource Technology* 102, 8799-8806.
- Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., Brdjanovic, D. 2008. *Biological Wastewater Treatment. Principles, Modelling and Design*. IWA Publishing.
- Mora, M., Fernández, M., Gómez, J.M., Cantero, D., Lafuente, J., ..., Gabriel, D. 2015a. Kinetic and stoichiometric characterization of anoxic sulfide oxidation by SO-NR mixed cultures from anoxic biotrickling filters. *Applied Microbiology and Biotechnology* 99, 77-87.
- Mora, M., Dorado, A.D., Gamisans, X., Gabriel, D. 2015b. Investigating the kinetics of autotrophic denitrification with thiosulfate: Modeling the denitrification mechanisms and the effect of the acclimation of SO-NR cultures to nitrite. *Chemical Engineering Journal* 262, 235-241.
- Mora, M., López, L.R., Lafuente, J., Pérez, J., Kleerebezem, R., van Loosdrecht, M.C.M., Gamisans, X., Gabriel, D. 2016. Respirometric characterization of aerobic sulfide, thiosulfate and elemental sulfur oxidation by S-oxidizing biomass. *Water Research* 89, 282-292.
- Sin, G., Gernaey, K.V., Neumann, M.B., van Loosdrecht, M.C.M., Gujer, W. 2011. Global sensitivity analysis in wastewater treatment plant model applications: Prioritizing sources of uncertainty. *Water Research* 45, 639-651.

Línea temática D

Estructuras hidráulicas

Estudio de remodelación del cuenco amortiguador de la presa de Buendía

Alonso Tejedor, M.E.^a y Moreno Calle, E.^b

^aSers, Consultores en Ingeniería y Arquitectura, S.A. C/ Alustante 1, 28002 Madrid. E-mail: ^aealonso@sers.es.

^bConfederación Hidrográfica del Tajo. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Av. del Ejército 12, 19004 Guadalajara. E-mail: enrique.moreno@chtajo.es.

Línea temática | Estructuras hidráulicas

RESUMEN

Introducción

La Presa de Buendía, finalizada en 1958, se encuentra situada en el río Guadiela afluente del río Tajo, en el término municipal de Buendía en la provincia de Cuenca. Es tipo gravedad con taludes 0,05H:1V aguas arriba y 0,76H:1V aguas abajo y la coronación, a la cota 714,28, presenta una longitud de 315,08 m y una altura sobre cimientos de 78,70 m.

El aliviadero está ubicado sobre el cuerpo de presa con umbral a la cota 710,50, formado por 5 vanos de 12,20 m de anchura y pilas de 2,00 m de espesor, con una luz libre de 61,00 m. Cuenta con un perfil tipo Creager hasta el punto de tangencia con la rápida. Las compuertas son tipo clapeta de 12,20 m de ancho por 1,70 m de proyección vertical.

Los desagües de fondo, ubicados también en el cuerpo de presa, están compuestos por tres conductos, con una separación entre ejes de 18,21 m y cota de salida en solera 646,00. Cada conducto, de sección rectangular de 1,50 m de ancho por 2,40 m de altura, tiene dos compuertas Bureau y evacua un caudal de 97 m³/s con el embalse a la cota 712,20.

Tanto el aliviadero como los desagües de fondo vierten al cuenco amortiguador, donde existen dos zonas bien diferenciadas. La primera zona del cuenco, de 23 m de longitud, se inicia con una curva tangente a la rápida y finaliza en un diente de 2 m de altura (cota 638,50). El punto más bajo del cuenco se encuentra a la cota 636,00 y la salida de los desagües de fondo a la cota 646,00. La segunda zona de cuenco, situada aguas abajo, de 17,70 m de longitud presenta una solera desigual, sensiblemente horizontal, con cotas comprendidas entre 637,00 y 638,00. Esta zona termina con un muro de cierre frontal irregularmente escalonado a cota 643,00.

La presa también cuenta con tres tomas para la central hidroeléctrica de pie de presa con capacidad, a nivel máximo normal, de 33 m³/s por turbina.



Figura 1 | Presa de Buendía. Aliviadero y cuenco amortiguador junto a central hidroeléctrica

Problemática y actuación

Con motivo de la redacción de las Normas de Explotación de la presa, se realizó la comprobación hidráulica del cuenco mediante una serie de cálculos teóricos con los que conocer, de forma aproximada, el comportamiento del vertido por el aliviadero y por los desagües de fondo. Los cálculos efectuados ponían de manifiesto que, aunque las dimensiones del cuenco amortiguador parecen suficientes para una correcta disipación de la energía del caudal desaguado por los desagües de fondo, resultan insuficientes para un adecuado funcionamiento del mismo ante un vertido por el aliviadero.

Por ello, se ha realizado un ensayo en modelo reducido, a escala 1:50, en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX de los órganos de desagüe de la presa de Buendía, con objeto de observar el funcionamiento y la disipación de energía en el cuenco amortiguador, analizando si sus dimensiones son las adecuadas tanto para el vertido por el aliviadero como por los desagües de fondo y efectuar, en su caso, las modificaciones necesarias para que realice adecuadamente su misión, optimizando su diseño, dentro de los condicionantes existentes.



Figura 2 | Ensayos en modelo físico del cuenco amortiguador de la presa de Buendía (Laboratorio de Hidráulica. CEDEX)

Los ensayos realizados muestran el correcto funcionamiento del cuenco actual para los caudales desaguados por el aliviadero correspondientes a la Avenida de Proyecto ($508,41 \text{ m}^3/\text{s}$), pudiendo considerarse aceptable al tratarse de la Avenida Extrema ($910,96 \text{ m}^3/\text{s}$). Sin embargo, se observó que durante el funcionamiento de los desagües de fondo el flujo sobrepasa el cuenco, no amortiguándose en su interior y produciendo erosiones aguas abajo.

Por ello, se modifica el modelo y se ensayan posibles soluciones de acuerdo a dos líneas de actuación: modificar la salida de los desagües de fondo o ampliar el cuenco. La solución definitiva alcanzada en este trabajo supone la ampliación del cuenco longitudinalmente, con una geometría en planta función de la topografía aguas abajo de la presa, añadiendo un diente intermedio donde actualmente se ubica el dique de cierre del cuenco y considerando la no afección sobre la salida de la central hidroeléctrica de pie de presa.

Los ensayos en modelo reducido realizados en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX han permitido definir la mejor solución a adoptar para asegurar el correcto funcionamiento del cuenco amortiguador de la presa y, por tanto, la estabilidad de la estructura. A partir de esta solución, se ha redactado el proyecto de construcción que permitirá abordar las obras necesarias para garantizar la seguridad de esta infraestructura.

Influencia del MDE de distribución gratuita SRTM-1s en el análisis de rotura de la presa de Chipembe, Mozambique: Aplicación del modelo Iber

Álvarez, M.^{a1}, Peña, E.^{a1} y Bermúdez, M.^{a1}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}ali.alvarez@udc.es, ^{a1}epena@udc.es, ^{a2}mbermudez@udc.es.

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Los mapas de las zonas inundables provocadas por la rotura de una presa muestran la extensión de las áreas localizadas en el tramo de aguas abajo de la presa que quedarían inundadas como resultado de la rotura. La representación en un mapa de estas áreas inundables es aproximada, y su precisión depende en buena medida de la precisión de los datos topográficos disponibles, así como los modelos hidráulicos utilizados para generar estos mapas.

Mientras más precisa sea la cartografía disponible mayor será la precisión de los mapas de las zonas inundables. Sin embargo, no siempre se dispone de cartografía precisa debido fundamentalmente a limitaciones presupuestarias, especialmente en países en vías de desarrollo como es el caso de Mozambique. En casos similares resulta de utilidad práctica considerar los beneficios que pueden aportar para la modelización hidráulica de inundaciones el uso de modelos digitales de elevaciones (MDE) de distribución gratuita. Dentro de este tipo modelos destaca el DEM SRTM-1s obtenido por el Radar de la Misión Topográfica Shuttle con tamaño de celda de cerca de 30 m y precisión vertical de ~ 10 m.

En el presente trabajo se plantea la modelización numérica de la hipotética rotura de la presa de Chipembe (Norte de Mozambique) en un tramo de cerca de 36 km hacia aguas abajo sobre la base del DEM SRTM-1s (Figura 1), asumiendo un escenario de día soleado (sunny-day). En el análisis se emplea el modelo bidimensional de flujo en lámina libre Iber.

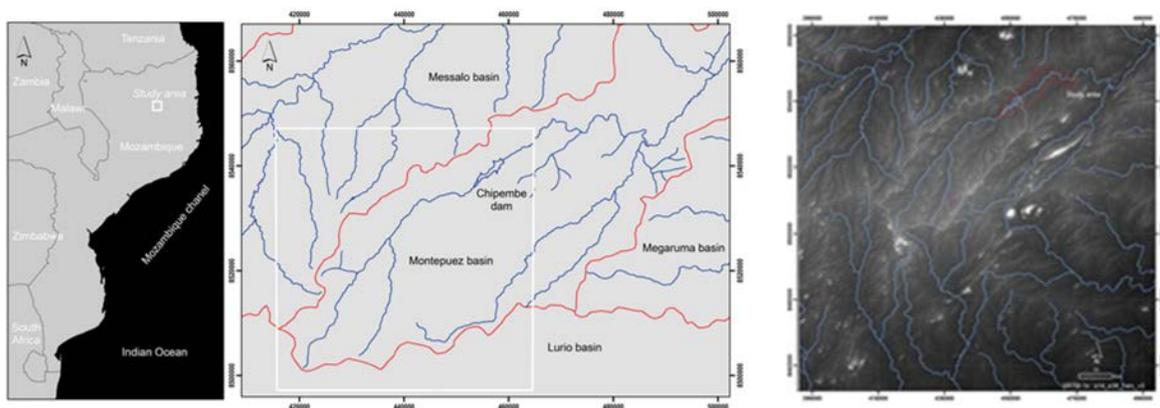


Figura 1 | La zona objeto de estudio (a) y bloque del MDE SRTM-1s (b).

Se explora el comportamiento hidráulico de la planicie de inundación aguas abajo de la presa de Chipembe bajo diferentes coeficientes de rugosidad, así como la influencia que tiene sobre los resultados obtenidos de algunas de las limitaciones más relevantes (sombra del radar, ruidos debidos a la cobertura vegetal, etc.) presentes en el DEM SRTM-1s.

Las limitaciones del MDE SRTM-1s, especialmente en las zonas del eje principal del cauce, provocan una sobrestimación de la extensión de las planicies de inundación e infravaloran las velocidades de propagación de la onda de la avenida (Figura 2). En consecuencia, se debe considerar detenidamente el uso del MDE SRTM-1s dentro del contexto de

delimitación de zonas inundables y la posible infravaloración de los riesgos asociados para las poblaciones y asentamientos rurales que potencialmente puedan verse afectados ante una hipotética rotura de la presa.

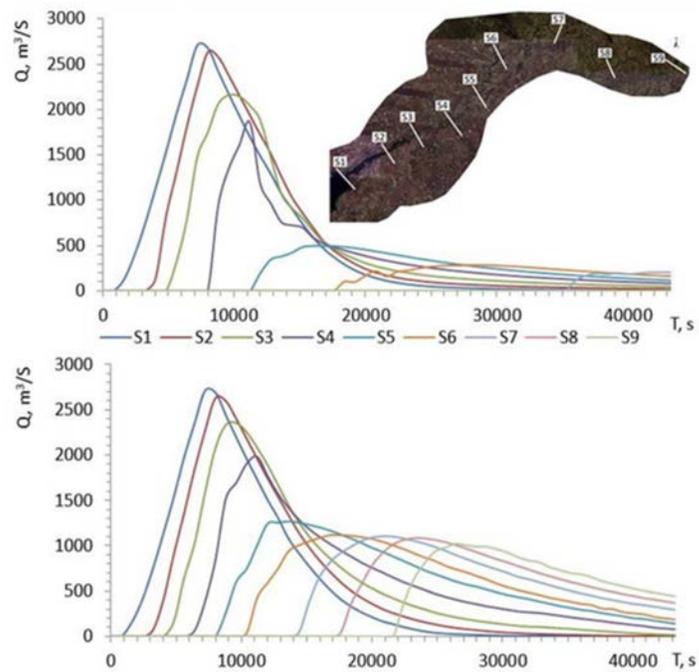


Figura 2 | Comparación del movimiento de la onda de la avenida a lo largo del tramo de estudio mostrando la influencia del MDE sobre los caudales punta: (a) MDE SRTM-1s original, y (b) después del acondicionamiento del MDE mediante la técnica del *Stream Burning*.

Este trabajo es parte del esfuerzo y la participación activa que está a realizar el GEAMA en los últimos años en proyectos de cooperación relacionados con los recursos hídricos y el fortalecimiento institucional de la Administración Regional de Aguas del Norte de Mozambique (ARA-Norte). Para ello se ha contado con el apoyo y la financiación de la Xunta de Galicia y Cooperación Galega.

Avances en el estudio de la rotura de presas de escollera con núcleo central de material cohesivo

Alves, R.M.^{a1}, Ricoy, L.F.^b, Morán, R.^{a2} y Toledo, M.Á.^{a3}

^{a1} Universidad Politécnica de Madrid, ETSI de Caminos, Canales y Puertos, Grupo SERPA, C/ Profesor Aranguren s/n, 28040 Madrid. Email: ricardo.monteiro@upm.es, ^{a2}r.moran@upm.es, ^{a3}matoleado@caminos.upm.es. ^b Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, Brasil. Email: lucas.ricoy@cemig.com.br

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Introducción

La mayoría de los estudios sobre rotura de presas de materiales sueltos por sobrevertido se ha realizado para presas de tipología homogénea y, por tanto, los modelos de base física actuales que intentan modelar el proceso de rotura de este tipo de presas se basan en la hipótesis de que la rotura se produce mediante una erosión progresiva. Esta hipótesis resulta aceptable para presas homogéneas tipo "todo-uno" o en presas de núcleos extremadamente gruesos pero se adaptan mal al mecanismo de rotura de las presas de escollera con núcleo central (o inclinado) o las presas de pantalla artificial. En estos casos, el mecanismo de rotura que prevalece es la rotura estructural, produciéndose el fallo del núcleo de material cohesivo (o de la pantalla) por agotamiento de la resistencia a cortante o por la flexión a que se ve sometido una vez que pierde el apoyo del espaldón (Toledo et al., 2015). Al tratarse de un fallo estructural, los tiempos de rotura son sensiblemente más rápidos que los tiempos de rotura de presas en las que gobiernan los procesos erosivos. Asimismo, se puede decir que el hidrograma de rotura depende principalmente de la rotura del elemento impermeable.

En los experimentos en modelo físico llevados a cabo sobre la rotura de presas de escollera con núcleo central o pantalla impermeable (Toledo et al., 2015), el caudal que provoca la rotura del elemento impermeable resulta muy cercano al que rompe por completo el espaldón. Este caudal no es más que el caudal necesario para eliminar el espaldón, dejando desprotegido al núcleo en el lado de aguas abajo. A partir de que el núcleo comienza a quedar desprotegido, resulta necesario evaluar las acciones a las que queda sometido y los mecanismos que pueden provocar su rotura estructural.

La forma de la rotura del núcleo depende a su vez de diferentes factores como, por ejemplo, la geometría del núcleo en planta, su perfil transversal, sus características resistentes, el nivel de embalse y el grado y forma del descalce del núcleo, es decir, la cantidad de escollera del espaldón de aguas abajo que se erosiona dejando el elemento impermeable desprotegido. El problema de la rotura estructural del núcleo es complejo puesto que su modelación numérica requiere considerar una ley constitutiva adecuada al material cohesivo y, sobre todo, reproducir la fractura del mismo. Para abordarlo, por tanto, se requiere de avances en la investigación del proceso.

En este documento se presentan los avances alcanzados por el Grupo SERPA de la Universidad Politécnica de Madrid sobre el estudio de la rotura de presas de escollera con núcleo central de material cohesivo por sobrevertido, tanto del espaldón de aguas abajo, formado por material no cohesivo, como de la rotura del núcleo. Estos avances se han basado en diferentes campañas de ensayos experimentales llevados a cabo en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos de Madrid y en el desarrollo de un modelo numérico simplificado para la estimación de la profundidad de la rotura estructural del núcleo.

Relativamente al espaldón de escollera, se ha identificado el caudal de sobrevertido necesario para que la rotura se inicie, denominado *caudal de incubación* o *caudal de inicio de rotura* (q_i). Una vez iniciada la rotura, si los caudales aumentan sobre el caudal de incubación, la rotura progresa desde el pie de la presa hacia aguas arriba hasta que alcanza la coronación de la presa. Al caudal correspondiente a este estado se le denomina *caudal de rotura* (q_r). Se han analizado la influencia de diferentes

factores como la granulometría del material granular (D_{50} , 12.6 mm y 35.0 mm), sus características de permeabilidad (k_{eq}), la altura de presa (H , 0.5 m, 0.8 m y 1.0 m) o el talud del espaldón ($N=H/V$ entre 1.0 y 3.5) sobre estos caudales (**Figura 1**).

Adicionalmente, se presenta en este artículo el modelo numérico simplificado desarrollado para evaluar la rotura del núcleo central, cuyos resultados han sido consistentes con las primeras observaciones experimentales realizadas. Es un modelo basado en principios mecánicos simples pero representa un cambio de paradigma en la evaluación y análisis de este tipo de eventos.

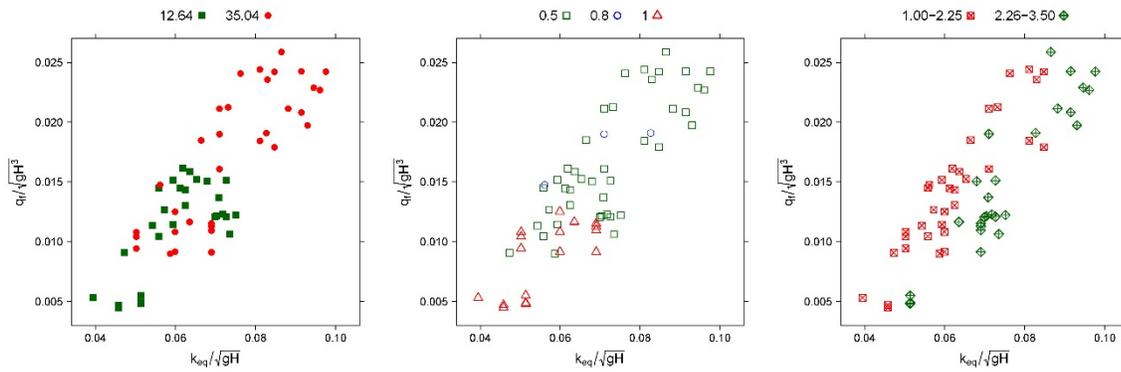


Figura 1 | Influencia de diferentes variables sobre el caudal de rotura del espaldón de escollera, como la granulometría del material granular (izquierda), la altura de la presa (centro) y el talud del espaldón de aguas abajo (derecha).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación los medios facilitados para esta investigación dentro del proyecto “Rotura del elemento impermeable de presas de materiales sueltos en situación de sobrevertido y análisis de protecciones combinando modelación física e inteligencia artificial” de código BIA2010-21350-C03-03, perteneciente a la convocatoria de 2010 del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011, dentro del Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental No Orientada.

REFERENCIAS

Toledo, M.Á., Alves, R.M. & Morán, R., 2015. Structural failure of the clay core or the upstream face of rockfill dams in overtopping scenario. In *Proceedings of the 1st International Seminar on Dam Protections Against Overtopping and Accidental Leakage*. pp. 101–109.

Modelación numérica del comportamiento de una válvula de esfera mediante CFD con validación experimental

Andrés-Reig, Daniel^{a1}, Pérez-Sánchez, Modesto^{a2}, Ramos, H.^b y López-Jiménez, P. Amparo^{a3*}

^a Departamento Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera S/N. 46022 Valencia. Email: ^{a1}daanrei@epsa.upv.es ; ^{a2}mopesan1@upv.es ^{a3}palopez@upv.es (* autor de correspondencia)

^b Departamento Ingeniería Civil, Arquitectura y Georecursos. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 1049-001, Portugal. Email: ^bhramos.ist@gmail.com

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

La modelización de sistemas de flujo a presión como herramienta de gestión es una técnica cada día más empleada, en la cual, los gestores basan gran parte de su toma de decisiones para garantizar la operatividad de los sistemas de distribución (Delgoda et al., 2016). La bondad de los resultados obtenidos está directamente relacionada con el valor proporcionado para las diferentes variables introducidas, las cuales intervienen en los mismos (e.g., longitudes, rugosidad, coeficientes de pérdidas singulares). En el caso concreto de las pérdidas localizadas, la determinación del parámetro adimensional de pérdidas 'k' es crucial para desarrollar los análisis tanto en régimen permanente como en transitorio, donde el tiempo efectivo de cierre está inversamente relacionado con el valor de la sobrepresión generada.

Entre el amplio abanico de elementos que pueden ser simulados, el análisis de elementos de corte y/o regulación mediante modelos numéricos, es interesante para mejorar la modelización y calibración de los sistemas de distribución (Moujaes y Jagan, 2008). En el presente trabajo se desarrolla una modelación numérica de una válvula de bola mediante técnicas de dinámica de fluidos computacional (CFD, *Computational Fluid Dynamics*), siendo validado con los datos experimentales desarrollados. La metodología desarrollada está aplicada en dos fases diferentes: Por un lado, se desarrolla una fase experimental, donde son obtenidos los datos experimentales de caída de presión en función del grado de apertura y caudal circulante. Por otro lado, se implementa una fase numérica, donde se resuelven las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos para el caso de estudio. El objetivo del trabajo es obtener la curva calibrada del parámetro adimensional 'k' que determina las pérdidas singulares.

La fase experimental se llevó a cabo en el laboratorio de hidráulica del Instituto Superior Técnico de la Universidade de Lisboa, en una instalación en circuito cerrado, donde para cada grado de apertura registrado de la válvula, se midió el caudal y las presiones aguas arriba y aguas abajo. El caudal fue registrado con un caudalímetro electromagnético, mientras que las presiones fueron registradas con transductores de presión, los cuales registraban la presión a través de un picoscopio. El análisis de los datos, permite obtener los valores de pérdidas de carga de la válvula en función del grado de apertura y caudal circulante (Figura 1. Dcha). A partir de estos valores, se obtiene la 'k' experimental de la válvula para los puntos registrados.

La fase numérica está dividida a su vez en dos sub-fases. En la primera de ellas, se desarrolla la caracterización geométrica de la válvula ensayada. La válvula estudiada, de PVC, con un diámetro interior de 44mm, ha sido caracterizada mediante el uso de la versión académica SolidWorks® (Solidworks, 2002) para determinar su área de paso en función del grado de apertura, obteniendo la variación del porcentaje de apertura en función del ángulo de cierre. La segunda, se corresponde con la parte de modelación numérica. La modelación se lleva a cabo mediante el software ANSYS FLUENT (Fluent, 2015), en su versión educacional. El código resuelve por el método de volúmenes finitos las ecuaciones de conservación de la masa, momento y turbulencia. La turbulencia es modelizada mediante las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas de Reynolds (RANS, *Reynolds Averaged Navier-Stokes*), mediante el modelo de capa límite 'k-ε'-RNG (*renormalization group theory*), mediante un mallado no estructurado, que en el caso de estudio se ajusta a 32000 elementos como consecuencia de que se utiliza la versión académica de la Universitat Politècnica de València.

Previa a la obtención de resultados de pérdida de carga, se han realizado dos análisis de sensibilidad. En primer lugar, se ha observado la convergencia de los resultados en función del número de elementos mallados en la simulación, cerciorarse de que son suficientes con los que ofrece la versión académica, y la variación de los resultados con el incremento de densidad de elementos mallados en las inmediaciones de la válvula. En segundo lugar, se han definido las longitudes mínimas aguas arriba y aguas abajo de la válvula de la conducción en la simulación, para que los resultados obtenidos no se vean afectados por la inestabilidad del flujo creada por la propia válvula, y éste se encuentra estabilizado a la entrada como salida del modelo. En este caso, la longitud mínima obtenida aguas arriba y aguas abajo ha sido 0.3 y 1.8 m, respectivamente.

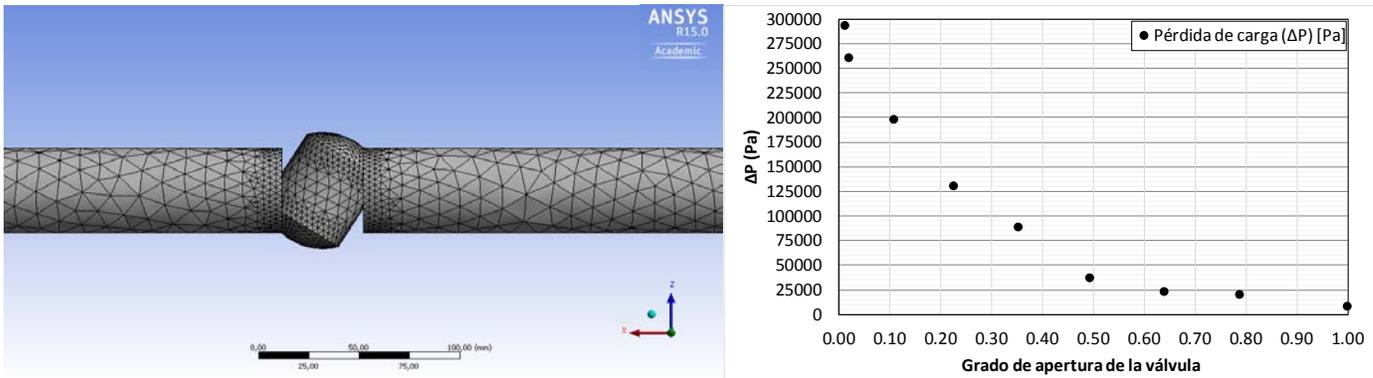


Figura 1 | Ejemplo de malla generada con ANSYS FLUENT © para un grado de apertura (Izda). Valores experimentales registrados para diferentes grados de apertura (Dcha)

Los primeros resultados analizados tras la calibración del modelo, muestran un buen ajuste entre los valores obtenidos por pérdida de carga en la simulación, cuando son comparados con los valores experimentales, obteniendo unos errores relativos inferiores al 9% en todo el grado de apertura de la válvula. Las mayores desviaciones aparecen en los valores centrales del grado de apertura. Estas diferencias, son las que se están analizando para mejorar la calibración del modelo. El modelo validado, se utilizará para obtener curvas sintéticas para válvulas de bola de diferentes diámetros de PVC comerciales, que sirvan como datos de partida para los modelos a desarrollar tanto en régimen permanente como transitorio.

REFERENCIAS

- Delgoda D, Malano H, Saleem SK, Halgamuge MN, 2016. Irrigation control based on model predictive control (MPC): Formulation of theory and validation using weather forecast data and AQUACROP model. *Environmental Modelling&Software* 78: 40-53.
- Fluent, A. (2015). Theory Guide and User's Guide. Ansys Inc, USA.
- Moujaes, S.F., Jagan, R. 2008. 3D CFD Predictions and Experimental Comparisons of Pressure Drop in a Ball Valve at Different Partial Openings in Turbulent Flow. *Journal of Energy Engineering* 134(1): 24–28.
- SolidWorks, I. (2002). Solidworks corporation. Concord, MA.

Caracterización de ventosas de admisión y expulsión de aire.

Arrué, P.^{a1}, Romero, A.M.^{a2}, Espert, V.^{a3}, García-Serra, J.^{a4} y Ponz, R.^{b1}

^{a1}Universitat Politècnica de València, Camino de vera s/n (46022-Valencia), E-mail: ^{a1}paarbu@csa.upv.es, ^{a2}aromeros@csa.upv.es, ^{a3}vespert@ita.upv.es, ^{a4}kgarcias@ita.upv.es

^{b1}Emimet, C/ Antiga Senda de Senent nº 8 5ª planta (46023-Valencia). E-mail: ^{b1}rponz@emimet.es.

Línea temática | Estructuras hidráulicas

RESUMEN

La Universidad Politécnica de València (UPV) y la empresa Aguas de Valencia, S.A. (AVSA) trabajan conjuntamente en un proyecto de Investigación y Desarrollo que tiene como objetivo elaborar un protocolo para el llenado y vaciado de grandes conducciones. Para ello resulta imprescindible conocer muy bien el funcionamiento real de los elementos que intervienen en el sistema. La elección de las ventosas adecuadas junto con el control de las válvulas de llenado y vaciado (desagües) para lograr una velocidad del flujo conveniente aseguraran unas maniobras en condiciones de máxima seguridad.

Como primera fase de este estudio se plantea el ensayo de estos elementos a fin de contrastar su funcionamiento con los datos proporcionados por los fabricantes. El objeto del trabajo que aquí se presenta es describir los ensayos realizados, recopilar los valores obtenidos y analizar los resultados, comparándolos con los datos de los fabricantes. Por último, obtener las curvas modelizadas del comportamiento real para su uso en modelos matemáticos de simulación de llenado y vaciado de conducciones.

Se estudian las diferentes tipologías de ventosas utilizadas en la práctica: Bifuncionales (2F), Trifuncionales (3F), Antiarriete o non-slam (NS), Diferenciales (DF) y Válvulas manuales de purga.

Se ensayaron un total de 29 ventosas en expulsión (DN 50, 80, 100, 150 y non-slam DN-80 y DN-100) y un total de 14 ventosas en admisión (DN-50, 80 y 100).

Los ensayos se llevarán a cabo en las instalaciones el laboratorio de pruebas y ensayos de válvulas de aire de ARI Flow Control Accesories Ltd. en Kfar Charuv (Israel), una de las instalaciones existentes en el mundo más vanguardistas y en el laboratorio de la empresa CSA, ubicado en sus instalaciones de Salsomaggiore Terme (PR) (Italia).

Los resultados que se obtuvieron fueron, para cada ventosa ensayada:

- Curvas P-Q en condiciones normales (CN, las que normalmente suministran los fabricantes) y en condiciones en el interior de la tubería (CI), obtenida de la anterior corrigiendo el Q en CN con la densidad en condiciones de trabajo o interiores. Permite su utilización directa en modelos de expulsión-admisión.
- Condiciones (P y Q) en las que se produce cierre dinámico o cierre anticipado (antes de que llegue el agua), si es que se produce, o condiciones de cierre del dispositivo antiarriete correspondiente en las ventosas tipo NS.
- Condiciones (presión) bajo las cuales se produce la apertura de la membrana para expulsar el aire en las ventosas tipo membrana.

Los resultados de los ensayos en expulsión y admisión que se obtuvieron con los caudales en condiciones normales (CN) y en condiciones interiores de la tubería (CI), permitieron la confección de fichas individuales para cada ventosa, resultando, según modelos, desviaciones entre lo medido y los datos del fabricante tanto por exceso como por defecto.

Se indican para cada ventosa las características principales, como caudal máximo ensayado en CN y CI, la presión correspondiente al cierre dinámico en caso de producirse y la presión del cierre parcial en las ventosas non-slam. Asimismo, se presenta en cada ficha información relativa a las condiciones de llenado o vaciado y se confeccionan curvas y tablas comparativas entre diferentes modelos de ventosas del mismo tipo y calibre. Sin duda, los resultados son muy útiles para la selección adecuada de ventosas y para su utilización en modelos matemáticos de simulación.

Por motivos de confidencialidad no podrán mostrarse los nombres comerciales de las ventosas pero si la metodología de los ensayos, análisis comparativos y los formatos en los que se presenta la información, muchos de ellos novedosos y de gran utilidad práctica.

MARCA	MODELO	DN	CIERRE PARCIAL (NS)	ENSAYO
xxx	vvv	100	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> EXPULSIÓN <input type="checkbox"/> ADMISIÓN

ENSAYOS DE LABORATORIO.

CSA			
RESULTADOS	Caudal (CN) (Nm ³ /h)	Presión (bar)	Caudal (CI) (m ³ /h)
Cierre parcial			
Punto máximo ensayado	3.200	0,198	2.676,90
Cierre dinámico	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO		

OBSERVACIONES: A la máxima presión de ensayo (0,5 bar) , la ventosa no cerraba de manera prematura

ARI			
RESULTADOS	Caudal (CN) (Nm ³ /h)	Presión (bar)	Caudal (CI) (m ³ /h)
Cierre parcial			
Punto máximo ensayado	4.626,83	0,826	2.548,93
Cierre dinámico	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO		

OBSERVACIONES:

COMPARATIVA.

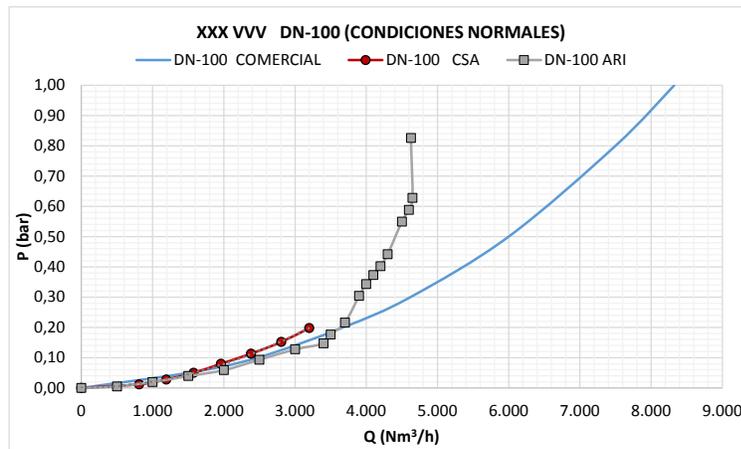


Figura. XXX-VVV DN-100. Correlación P vs. Q_{EXPULSIÓN}. (CONDICIONES INTERIORES).

REFERENCIAS

AENOR. 2001. *UNE-EN 1074-4. Válvulas para el suministro de agua. Requisitos de aptitud al uso y ensayos de verificación. Parte 4: Purgadoras y ventosas.*

Abreu, J., Cabrera, E., Espert, V.B., García-Serra, J., Sanz, F. 2012. *Transitorios Hidráulicos. Del régimen estacionario la golpe de ariete.* Editorial UPV. Valencia.

Arregui, F., García-Serra, J., Kruisbrink, A.C.H., Cabrera, E., Fuertes, V.S., Palau, C.V., Gascón, L. 2003. Air valve dynamic behaviour. *Pumps, electromechanical devices and systems applied to urban water management, PEDS 2003.* 623-632. Abril 2003. Valencia

Phu D. Tran, 2017. Pressure Transients Caused by Air-Valve Closure while Filling Pipelines. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE. Vol 143, Issue 2.* DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001245.

Caracterización del agua bruta en las EDAR de Galicia

Barrio, J.P.^{a1}; Costoya, T.^{b1}; Poncet, J.^{a2} y Verde, R.^{b2}

^aE.P.E. Augas de Galicia. Dr. Maceira 18 Bajo, 15706 Santiago de Compostela.

E-mail: ^{a1}juan.pablo.barrio.martin@xunta.gal ^{a2}judith.poncet@xunta.gal

^bAdantia, S.L. Edif. Area Central, 1ª planta, L 32-K (Fontiñas), 15707 Santiago de Compostela.

E-mail: ^{b1}t.costoya@adantia.es ^{b2}r.verde@adantia.es

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Para el diseño de nuevas EDAR resulta imprescindible hacer un estudio de cargas y caudales de la red a la que se dará servicio. Sin embargo, dado que en muchas ocasiones la red forma parte del propio proyecto o se modifica de forma sustancial, las hipótesis que hay que realizar son numerosas y en muchas ocasiones se tiende a comparar el resultado con las caracterizaciones típicas de agua residual más conocidas. Los altos valores de precipitación registrados en Galicia, la escasa profundidad a la que se encuentra el nivel freático, la existencia de numerosos manantiales, ríos y regatos hacen que en muchas ocasiones los valores registrados a la entrada de las EDAR difieran mucho de los valores recogidos en dichas caracterizaciones.

En el presente estudio se pretende hacer una caracterización no exhaustiva de los afluentes de llegada a las EDAR de Galicia, tomando como base la información disponible relativa a 133 EDAR ubicadas en esta comunidad.

Desde Augas de Galicia se realiza el control, seguimiento y asesoramiento sobre las instalaciones de depuración en Galicia. Dentro de este control se incluye la realización de analíticas tanto de agua tratada como de agua bruta en las EDAR objeto de control. Se ha realizado una recopilación de las analíticas de agua bruta disponibles, de modo que para la realización de este análisis se cuenta con más de 6.000 analíticas de agua bruta tomadas entre los años 1.999 y 2.017.

El estudio no pretende ser exhaustivo ya que la calidad de los datos puede resultar muy heterogénea y puede haber circunstancias que afecten de forma significativa al análisis (como el número de muestras disponibles en cada EDAR, o el momento en el que se tomaron esas muestras), sin embargo, se considera que toda la información disponible resulta suficientemente representativa para poder realizar un análisis que refleje los valores más habituales, la dispersión de resultados, la variación entre las concentraciones máximas y las concentraciones medias, etc.

Por otra parte, también se dispone de un número elevado de registros mensuales de caudal que permiten valorar las variaciones de caudal que tienen lugar en cada EDAR entre tiempo de lluvia y tiempo.

Así, se pretende poner números a la situación actual en relación a las cargas y caudales que llegan a las EDAR, de cara a tener un valor más realista de las variaciones de carga existentes, de las variaciones de caudal y las variaciones en la concentración de la carga contaminante.

Con carácter general en cada analítica realizada de agua bruta se dispone de los siguientes parámetros: DBO5, DQO, MES, NTK, Pt, pH y Conductividad.

La metodología usada se basa en calcular para cada EDAR los siguientes indicadores para cada uno de los parámetros disponibles (DBO5, DQO, MES, NTK, Pt, pH y Conductividad):

- Media aritmética (\bar{x})
- Percentil 50% (p_{50})
- Percentil 90% (p_{90})
- Relación p_{90}/p_{50}

Dado que el objetivo del estudio no es caracterizar el agua bruta de una determinada EDAR, si no el de realizar una caracterización global para el agua de entrada en las EDAR de Galicia, se realiza tanto el estudio del conjunto de todos los datos como el estudio por agrupaciones de EDAR con características comunes (por ejemplo, el número de analíticas anuales realizadas), asimismo se tendrá en cuenta la estacionalidad en el análisis.

A modo de ejemplo se incluye parte del análisis realizado sobre la DBO₅ donde pueden extraerse conclusiones como que en el 70% de las EDAR estudiadas el percentil 50 de la DBO₅ está por debajo de 110 mg/l (un 26% de las EDAR por debajo de 50 mg/l), que el percentil 90 de la DBO₅ está por debajo de 300 mg/l en el 70% de las EDAR estudiadas o que en el 46% de las EDAR estudiadas la relación p₉₀/p₅₀ está entre 2 y 3.

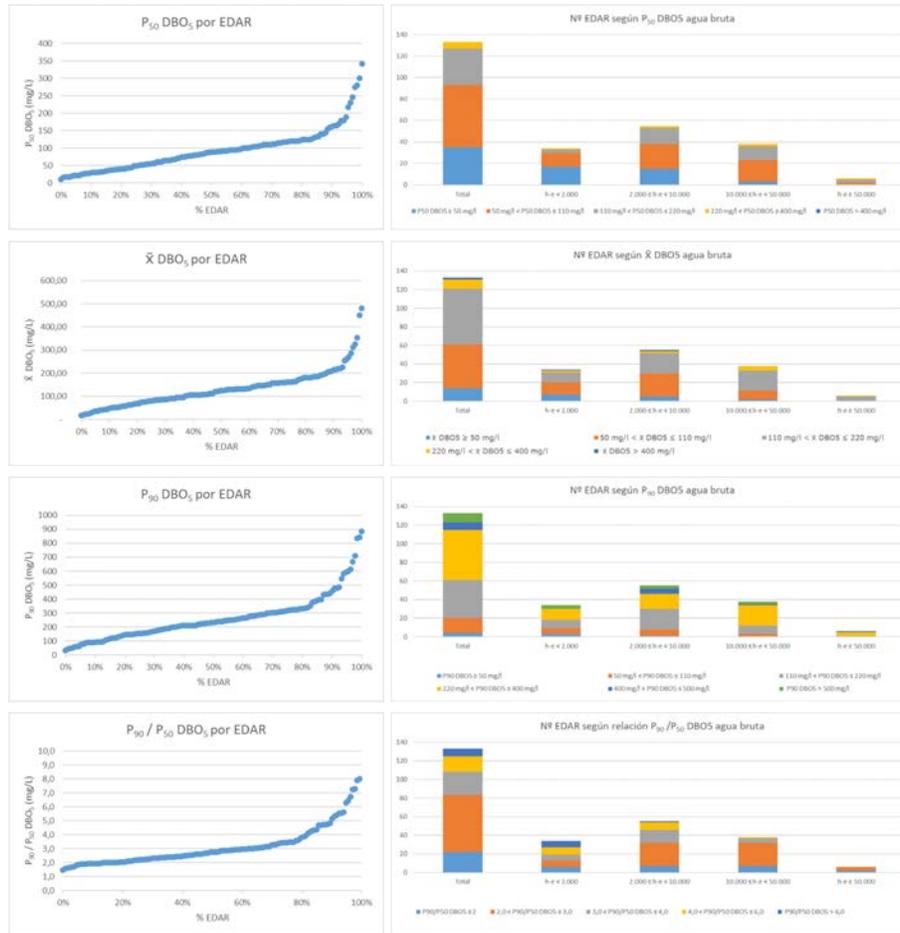


Figura 1 | Ejemplo del análisis realizado para la DBO₅.

En el estudio de caudales se realiza un análisis similar, considerando los valores mensuales. En este caso, se analiza la variación del caudal medio a lo largo del año, ya que existen variaciones muy importantes que deben tenerse en cuenta en el diseño de los elementos de la EDAR.

Modelado CFD del flujo aire-agua en un desagüe de fondo de presa

Arnau Bayón^a, Juan Francisco Macián-Pérez^a, Felipe Río^b, Francisco José Conesa^b, Daniel García-Lorenzana^b

^aInstituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente - Universitat Politècnica de València. Email: arbabar@iiama.upv.es

^bEndesa Generación S.A.

Línea temática | D. Estructuras Hidráulicas

RESUMEN

Introducción

El correcto funcionamiento de los órganos de desagüe de las presas constituye un aspecto crítico en el diseño, mantenimiento y operación de éstas, especialmente, dadas las dramáticas consecuencias que pueden derivarse de su fallo. Para ello, es fundamental un diseño riguroso, tanto desde el punto de vista estructural, como del de los elementos mecánicos que regulan su funcionamiento. El problema surge a la hora de caracterizar y cuantificar las solicitaciones a las que pueden llegar a ser sometidos estos dispositivos en situaciones extremas, en particular, si se tiene en cuenta la complejidad del flujo que se desarrolla en su interior, altamente turbulento, a menudo, aireado y confinado en geometrías tan complejas que imposibilitan un enfoque estrictamente analítico para su estudio.

Es en este contexto en que el modelado numérico tridimensional está llamado a aportar soluciones cuyo análisis desde el punto de vista experimental supondría costes muy elevados. Se presenta así un modelo del desagüe de fondo de la Presa de Mequinenza (Zaragoza), inserta en el cauce del Río Ebro, con el Embalse de Mequinenza aguas arriba y el de Riba-Roja inmediatamente aguas abajo. El desagüe está formado por dos conducciones idénticas en paralelo de longitud 55.75m, cuya sección circular varía en diámetro entre 2 y 3m a lo largo de éstas, con capacidad de verter caudales de hasta 160m³/s. Dicho vertido se regula mediante una compuerta vertical, ubicada en la embocadura del desagüe, seguida de una válvula de mariposa de 3m de diámetro. Ambos dispositivos cuentan con sus respectivos conductos de aireación inmediatamente aguas abajo para facilitar la entrada de aire si las condiciones de operación lo requieren.

Modelo numérico

El modelo numérico tridimensional empleado se basa en el uso de técnicas de dinámica de fluidos computacional (CFD), garantizando una descripción exhaustiva del flujo tridimensional turbulento y, a menudo, altamente aireado que se produce en el interior del desagüe. El código en el que se implementa el modelo es OpenFOAM (OpenFOAM, 2017), una plataforma de aplicaciones y librerías en C++ basadas en el método de los volúmenes finitos (FVM) para la resolución de todo tipo de problemas de mecánica de medios continuos, de código abierto y libre distribución. La naturaleza bifásica del flujo, incluyendo la entrada de aire y formación de burbujas de gran tamaño, se trata mediante el volumen del fluido (VOF), empleándose un enfoque RANS para el modelado de las fluctuaciones turbulentas del flujo; el RNG k-ε, en particular, cuya aplicación en casos semejantes ha dado resultados satisfactorios en el pasado (Bayón et al., 2016).

La discretización del dominio a analizar se realiza a partir de una malla estructurada de elementos cúbicos, a la que se aplica un refinado selectivo en las zonas de mayor interés o donde se espera que ocurran mayores gradientes (ver la Fig. 1). Posteriormente, dicha malla se adapta a la geometría del escenario analizado mediante la aplicación snappyHexMesh, capaz de recortar mallas a partir de un diseño CAD del dominio a simular, colapsar los elementos en contacto con los contornos sólidos para adaptarse a la forma de éstos y aplicar un refinamiento selectivo en la vecindad de dichas superficies. En estas zonas, se aplica una función de pared de alto número de Reynolds, evitándose así tener que resolver las regiones de la capa límite más próximas a los contornos sólidos, con la consiguiente reducción de tiempos de cálculo. En ese sentido, se aplica una condición

de contorno de simetría a la sección longitudinal del dominio, reduciéndose también notablemente la potencia de cálculo necesaria, al disminuir el número de elementos de la malla a la mitad.

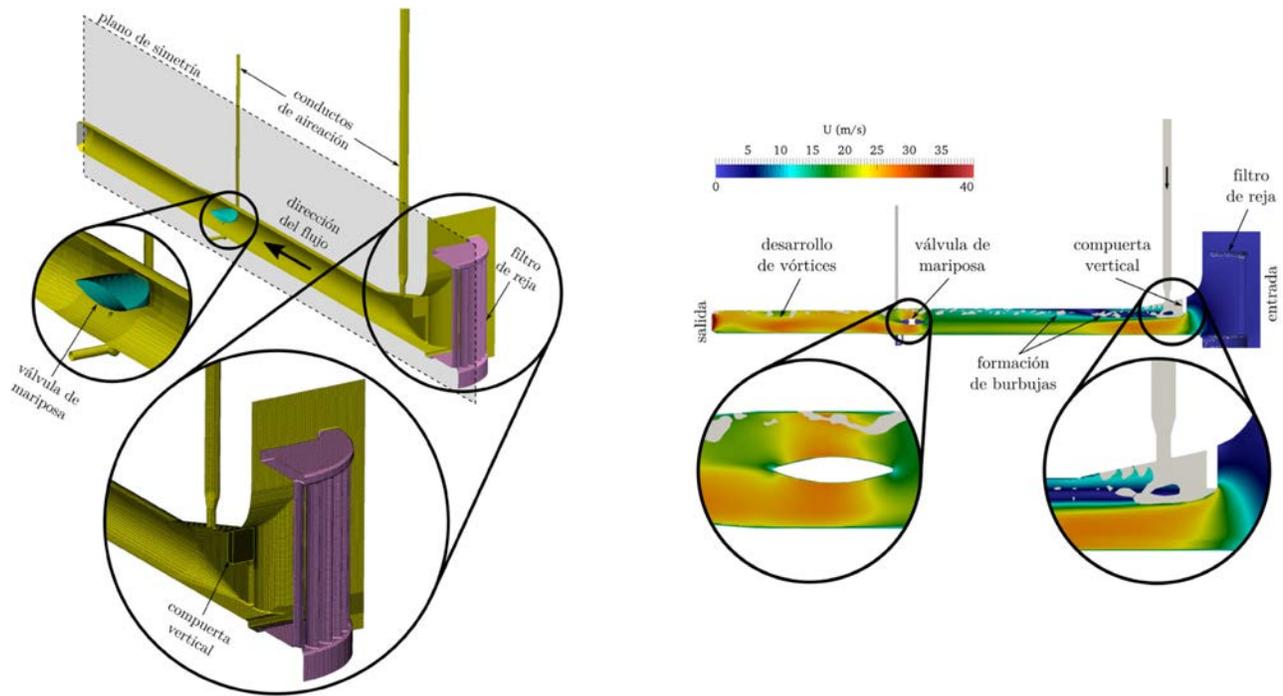


Figura 1 | Ejemplo de caso simulado con nivel máximo en Embalse de Mequenza a descarga en vacío, con grado de apertura de compuerta del 60% y, de válvula, del 100%. Izquierda: Detalles del mallado del desagüe. Derecha: campo de velocidades en corte longitudinal.

Resultados y conclusiones

El caso de estudio analizado contempla una extensa casuística de escenarios de operación diferentes, fruto de toda la combinatoria posible de niveles de embalse aguas arriba y aguas abajo de la presa y de grados de apertura de compuerta y válvula. Con ello, se puede considerar exhaustivamente descrito cualquier escenario de operación de la estructura.

De los resultados obtenidos, se obtiene el caudal circulante en función de las reglas de operación del desagüe. Adicionalmente, se calculan también las presiones mínimas en cada escenario analizado y se comparan con la presión de vapor del agua, a fin de detectar y ubicar la posible ocurrencia de cavitación y evitar así las terribles consecuencias que pueden llegar a derivarse de este fenómeno.

REFERENCIAS

- Bayon, A., Valero, D., García-Bartual, R., Vallés-Morán, F.J. y López-Jiménez, P.A. 2016. Performance assessment of OpenFOAM and FLOW-3D in the numerical modeling of a low Reynolds number hydraulic jump. *Environmental Modelling & Software* 80, 322-335.
- OpenFOAM. 2017. OpenFOAM: the Open Source CFD Toolbox User Guide. The Free Software Foundation Inc.

Desarrollo de una herramienta para simular obstrucciones en flujos con Iber

Bladé, E.^{a1}, Sanz-Ramos, M.^{a2}, Niñerola, D.^{a3} y Dolz, J.^{a4}

^{a1}Institut Flumen (UPC-CIMNE), Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech. Campus Nord.
E-mail: ^{a1}ernest.blade@upc.edu, ^{a2}marcos.sanz-ramos@upc.edu, ^{a3}daniel.ninyerola@upc.edu, ^{a4}j.dolz@upc.edu.

Línea temática | D. Estructuras hidráulicas

RESUMEN

Casuística

La simulación de flujos de agua en lámina libre mediante modelos bidimensionales se ha popularizado en los últimos años gracias, sobre todo, al incremento de potencia de cálculo de los ordenadores y a las capacidades que ofrecen. Las posibilidades de cálculo han evolucionado de la mano con las necesidades del mundo académico y profesional. Se ha pasado de simular simples flujos en canales a resolver problemas en cauces muy complejos (p.ej. con presencia de edificios, de estructuras, de obras de drenaje, etc.) o en sistemas de acometida de agua para riego o centrales hidroeléctricas (p.ej. bocatomas), y han ayudado en el pre-diseño de obras hidráulicas (p.ej. aliviaderos tipo “*morning glory*”), entre muchas otras.

En los modelos bidimensionales la descripción del movimiento del flujo se realiza a través de las ecuaciones de Saint Venant 2D o ecuaciones de aguas someras. Estas ecuaciones se deducen de las ecuaciones de Navier-Stokes tras realizar el promedio temporal, para filtrar las fluctuaciones turbulentas (ec. Reynolds), y el promedio en la profundidad, para transformar las ecuaciones tridimensionales a bidimensionales. De esta última simplificación se desprende que el campo de velocidades es constante en la vertical (en x e y).

Los modelos hidrodinámicos bidimensionales “puros” tan solo ofrecen como resultados la altura de agua (h) y el campo de velocidades (v_x y v_y). Pero la necesidad de resolver problemas cada vez más complejos ha llevado a un continuo desarrollo, de manera que se han ido incorporando pequeñas modificaciones para poder simular flujos a través de vertederos, compuertas, puentes, etc. En algunos casos se incorporan también módulos de cálculos adicionales para la turbulencia, el transporte de sedimentos, la dispersión de contaminantes, la rotura de balsas, etc.

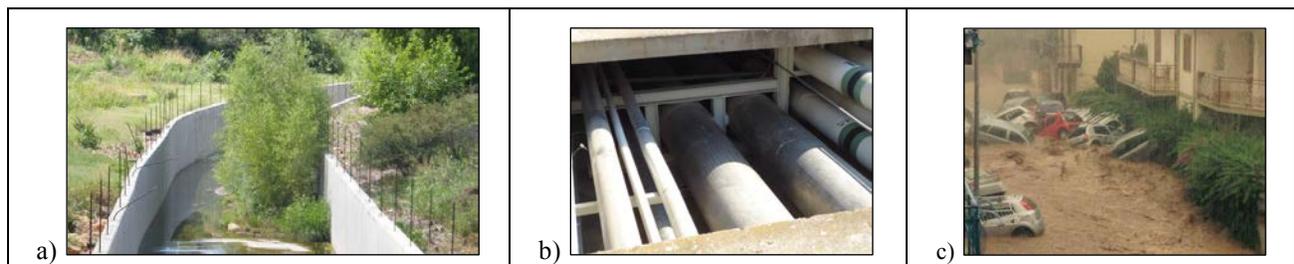


Figura 1 | Diferentes tipos de obstrucciones. a) Cauces artificiales o naturales con crecimiento de vegetación. b) Galerías de servicio ocupadas por tuberías y otros elementos. c) Vehículos en calles, ramblas, arroyos o encauzamientos (Fuente: *diversas*).

En todos estos casos se considera que el flujo, en toda la columna de agua, fluye como un único bloque, es decir, no se consideran obstáculos que modifiquen el flujo (fuera de la topografía). De modo que no sería posible, a priori, simular obstrucciones en el flujo tales como vegetación densa en el cauce o canal (Fig. 1.a), tuberías u otros elementos embebidos en las secciones (Fig. 1.b) o, en un caso extremo, obstáculos de gran envergadura como vehículos (Fig. 1.c). Todos ellos reducen la sección útil por donde el flujo circula a modo de obstrucción.

Para dar solución a esta casuística, se ha desarrollado una herramienta para la simulación del flujo que permite considerar obstrucciones mediante el modelo Iber (Bladé et al., 2014a).

Ocupación

Las obstrucciones han sido tratadas como una reducción de la sección útil pues suponen una ocupación, en planta y alzado, del volumen libre que dispone el flujo para circular. Para ello se ha modificado el área de cada elemento a través del índice de ocupación (i_o), siendo éste el cociente entre la sección útil y la sección total.

Este tratamiento se ha realizado en la ecuación de continuidad [1], donde el área en planta del elemento se ve modificada por el coeficiente reductor (α) que incluye el índice de ocupación [2].

$$\frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta q_x}{\delta x} + \frac{\delta q_y}{\delta y} = 0 \quad [1]$$

$$\alpha = (1 - i_o) \quad [2]$$

El fenómeno hidráulico producido por una obstrucción queda simplificado en general, y a igualdad de otros factores, a un incremento de la velocidad (similar al efecto de un estrechamiento) y un llenado más rápido en secciones sin salida de agua.

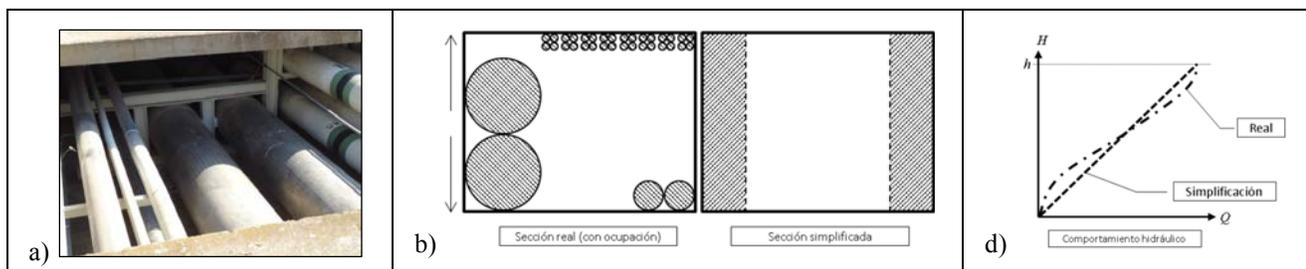


Figura 2 | Ejemplo de una sección con obstrucciones (tuberías). a) Imagen de la sección. b) Representación esquemática de la sección (alzado). c) Comportamiento hidráulico de la sección ocupada.

Validación del modelo y caso de estudio

Se han llevado a cabo diferentes simulaciones a fin de validar el comportamiento del modelo. Para ello se emplearon casos simples en canales con ocupación parcial (en el tramo central) y total, así como diferentes niveles de ocupación. Asimismo, el modelo ha sido puesto a prueba en un caso real de estudio, cuya compleja geometría está compuesta por una serie de canales interconectados, cada uno de ellos con diferentes niveles de ocupación y características geométricas también muy distintas (escalones, cambios de sección, tramos a presión, flujo a través de alcantarillas, etc.). En todos los casos los resultados fueron satisfactorios, reproduciendo adecuadamente una circulación más rápida del flujo, así como un llenado también más rápido del conducto.

REFERENCIAS

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., y Coll, A. 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya), 30(1), 1–10.

Avances en la tecnología de aliviaderos de bloques en forma de cuña (WSB)

Caballero, F.J.^{a1}, San Mauro, J.^{b1}, Toledo, M.A.^{a2}, Morán, R.^{a3}, Salazar, F.^{b2}, Monteiro, R.^{a4}, Ruano, L.^{c1}, Monterde, M.^{c1}

^aGrupo de Investigación en Seguridad de Presas y Aliviaderos (SERPA), Universidad Politécnica de Madrid, ^bCentro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), ^cPREHORQUISA. E-mails: ^{a1}jcaballero@caminos.upm.es, ^{a2}matoledo@caminos.upm.es, ^{a3}r.moran@upm.es, ^{a4}ricardo.monteiro@upm.es ^{b1}jsanmauro@cimne.upc.edu, ^{b2}fsalazar@cimne.upc.edu, ^{c1}luis@prehorquisa.com, ^{c1}calidad@prehorquisa.com

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

La tecnología de bloques en forma de cuña (WSB por sus siglas en inglés, *wedge shaped blocks*) ha tenido un desarrollo lento en las últimas décadas, pese a haber demostrado su fiabilidad práctica en aliviaderos de pequeñas presas de materiales sueltos o balsas, así como en su uso como protección frente al sobrevertido accidental.

La estabilidad de los WSB se basa en las condiciones hidráulicas locales que generan los bloques en su entorno, gracias a su particular forma en cuña. Los aspectos básicos que determinan su estabilidad son: la distribución característica de presiones en la cara superior de cada bloque (presiones negativas en la zona de más aguas arriba de la huella y presiones positivas en la zona de aguas abajo, Fig.1a), el solapamiento entre bloques contiguos y el alivio de posibles subpresiones de la capa de drenaje por medio los dispositivos de aireación dispuestos al efecto.

La comunicación expondrá un breve estado del arte, resaltando las principales referencias de este tipo de protección, partiendo de la idea inicial de P.I. Gordienko a finales de los años 60 (Hewlett et al., 1997) hasta las investigaciones más recientes de Relvas&Pinheiro (2008). En referencia a obras ejecutadas, aunque ya existían algunos aliviaderos conformados por WSB en el mundo, la mayoría de ellos en Rusia y Reino Unido como prototipos, en 2007 se ejecutó en España la presa de Barriga (Fig.1b) que constituye la primera realización de un aliviadero de servicio conformado por WSB, habiéndose llevado a cabo posteriormente nuevas obras tanto en el Reino Unido como en EE.UU. (FEMA, 2014).

Entre los años 2011 y 2017, la UPM, CIMNE y la empresa PREHORQUISA, con la colaboración del CEDEX, han pretendido complementar los conocimientos teóricos y prácticos de la tecnología de los WSB (Fig.1c), para hacer de esta tecnología una opción más, a disposición de los profesionales, a considerar en el diseño de un aliviadero de un dique de tierras.

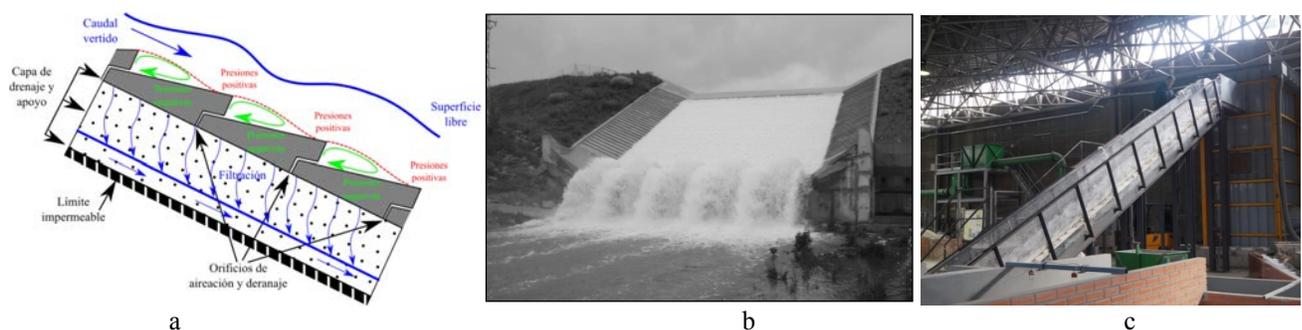


Figura 1 | a. Esquema del funcionamiento hidráulico de un aliviadero de bloques en forma de cuña. Fuente: Dam Protections against Overtopping and Accidental Leakage, Ed. Balkema. b. Aliviadero de la presa de Barriga, Burgos (Fuente: José Manuel Ruiz, mayo de 2008) c. Modelo físico de los proyectos ACUÑA y DIABLO ubicado en el CEDEX.

La comunicación pretende ofrecer un resumen de estos estudios, llevados a cabo bajo el paraguas de los proyectos ACUÑA (IPT-2011-0997-020000) y DIABLO (RTC-2014-2081-5), financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Estos proyectos han hecho hincapié en:

- Caracterizar las presiones en la cara superior del bloque y en la parte frontal de la contrahuella, estableciendo un criterio para determinar cuando existe riesgo de cavitación. En este sentido se han comparado los resultados obtenidos en el modelo físico ubicado en el CEDEX con los existentes hasta el momento y se han medido por primera vez valores en la contrahuella de los escalones. A modo de ejemplo en la figura 2 se muestran los sensores dispuestos en los bloques de medición de presiones y parte de los resultados obtenidos, que serán explicados en detalle en la comunicación definitiva.

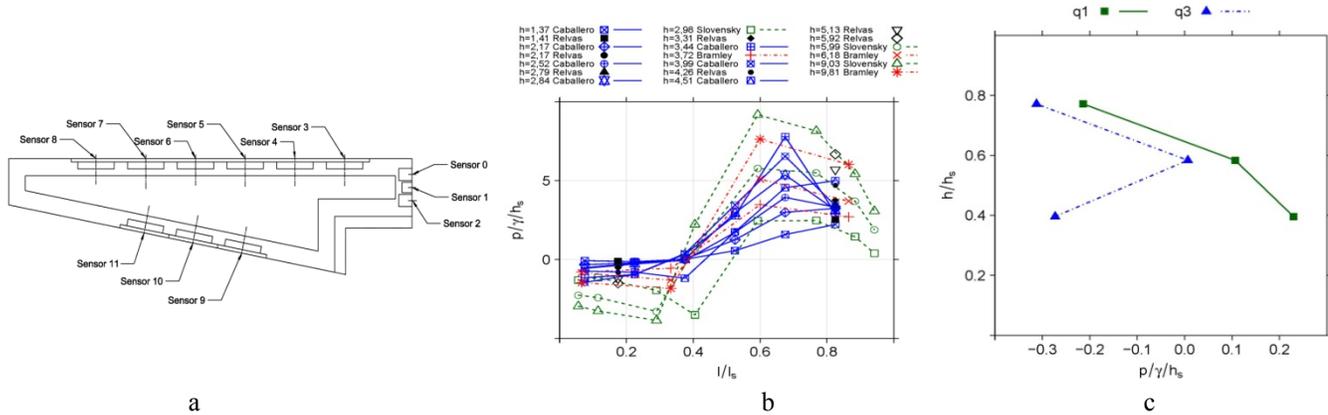


Figura 2 | a. Ubicación de los sensores de presión en los bloques de medición de presiones del proyecto ACUÑA b. Comparación de presiones en huella de bloque obtenidas en modelo físico por diversos autores, incluido proyecto ACUÑA. c. Presiones en contrahuella de bloque obtenidas en modelo físico, proyecto ACUÑA

- Explicar el patrón de funcionamiento hidráulico de este tipo de aliviaderos, verificando su estabilidad tanto desde el punto de vista de los bloques como de la capa de drenaje bajo los mismos para distintas tipologías de espaldón. Hasta el momento se ha obtenido tanto numérica como físicamente el comportamiento de los bloques y la capa de drenaje en el caso de ubicarse los mismos en el espaldón permeable de una presa de escollera. En los próximos meses se prevé obtener resultados sobre presas homogéneas (espaldones no permeables) mediante ensayos físicos que servirán para validar los modelos numéricos ya realizados.
- Definir un nuevo bloque (WSB), que sea capaz de mejorar el rendimiento de los actuales, habiéndose presentado durante el año 2016 una patente con este producto (ES2595852) actualmente en trámite.
- Dar respuesta a la demanda de cálculo y dimensionamiento de aliviaderos con esta solución concreta de protección de una forma integral, mediante una herramienta numérica, de la que ya se dispone de una primera versión.
- Estudiar la variación del tipo de material a emplear en la fabricación de los bloques, evaluando la utilización en dicho proceso de hormigones no convencionales, tales como por ejemplo, hormigones con fibras; estando esta parte de la investigación actualmente en marcha.

REFERENCIAS

- Hewlett, H., Baker, R., May, R., & Pravdivets, Y. P. (1997). Design of stepped-block spillways. London, U.K.: Construction Industry Research and Information Association.
- Relvas, A.T. (2008). Descarregadores de Cheias de Blocos de Betão Prefabricados em Forma de Cunha sobre Barragens de Aterro. Ph.D. Thesis, Universidade Tecnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- US Federal Emergency Management Agency, FEMA. (2014). Technical manual: Overtoppingprotectionfordams U.S. Department of Homeland Security.

Metodología para la evaluación del riesgo y la priorización de inversiones en el mantenimiento de obras de drenaje transversal

Javier Campos^a, Javier González^b, Sarai Díaz^c y Álvaro Galán^d

^aHidralab Spin-Off UCLM, Doctorado en Territorio, Infraestructuras y Medio Ambiente. Edificio Politécnico Av. Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real (España). E-mail: Javier.Campos@hidralab.com, ^bUniversidad de Castilla-La Mancha, ETSI Caminos, Canales y Puertos Ciudad Real, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Edificio Politécnico Av. Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real (España). E-mail: Javier.Gonzalez@uclm.es, ^cUniversidad de Castilla-La Mancha, ETSI Caminos, Canales y Puertos Ciudad Real, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Edificio Politécnico Av. Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real (España). E-mail: Sarai.Diaz@uclm.es y ^dUniversidad de Castilla-La Mancha, ETSI Caminos, Canales y Puertos Ciudad Real, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Edificio Politécnico Av. Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real (España). E-mail: Alvaro.Galan@uclm.es

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Las obras de drenaje transversal (ODT) son elementos esenciales de cualquier infraestructura de transporte. Si bien la entidad de dichas obras provoca que su nivel de relevancia (en cuanto a labores de mantenimiento ordinario) a menudo se considere mucho menor que el de otras estructuras de mayor luz, como pontones y puentes, se ha de tener en cuenta que un eventual fallo en este tipo de elementos provoca igualmente el fallo del servicio global de la infraestructura. Actualmente existe a nivel nacional una regulación técnica relativa al diseño de este tipo de obras (Ministerio de Fomento, 2015), sin embargo no se tratan aspectos relativos a su mantenimiento y a la evaluación de su nivel de servicio en el tiempo. La experiencia en otros países muestra que contar con información actualizada del estado de estas estructuras es crucial en la gestión del mantenimiento de cualquier infraestructura de transporte (Federal Highway Administration, 2010) así como a la hora de planificar posibles actuaciones preventivas (Balkham et al., 2010). A medida que muchas de estas estructuras alcanzan el límite de su vida útil, las administraciones se ven en la necesidad de programar su reposición o reparación (Najafi y Bhattachar, 2010), sin embargo actualmente no se cuenta con una metodología objetiva para priorizar dichas actuaciones por lo que a menudo estas se acometen una vez se ha detectado a incidencia en el servicio (actuaciones correctivas).

El objetivo de este trabajo es por tanto presentar una metodología objetiva para el análisis preliminar del riesgo de fallo en obras de drenaje transversal, base necesaria para construir modelos de priorización de inversiones en mantenimiento (actuaciones preventivas). La metodología principal se basa en la combinación de modelos probabilísticos asociados a los distintos modos o mecanismos de fallo que puede presentar una obra de drenaje transversal, en combinación con la repercusión o consecuencias que dicho fallo produce sobre el nivel global de servicio de la infraestructura, obteniendo en última instancia un nivel de riesgo global asociado a la ODT (Roads an Traffic Authority, 2010). La estimación de la probabilidad de fallo se basa en el estudio de los modos de fallo, situaciones donde se produce la caída total del nivel de servicio en la infraestructura y que están relacionados con fenómenos de colapso estructural, inestabilidad, erosión y flujo sobre rasante. Con objeto de estimar la probabilidad de fallo en cada caso es necesario contar con modelos de evolución global del deterioro (Salem et al., 2012) así como llevar a cabo la caracterización hidrológica-hidráulica de la obra de drenaje transversal, realizar estudios preliminares de estabilidad en el terraplén y de erosión local en las embocaduras (Galán et al., 2016). Por otra parte, las consecuencias de la caída del servicio en la infraestructura implica no solo costes puramente económicos (Perrin and Jhaveri, 2003), que repercuten sobre el propio organismo gestor de la infraestructura, sino también para el conjunto de la sociedad.

Puesto que el objetivo principal del trabajo es la aplicación de la metodología de forma global al conjunto de obras de drenaje transversal de una infraestructura de transporte es prioritario poder abordar de forma conjunta la caracterización del nivel de riesgo para un gran número de estructuras, por lo que para este efecto han sido desarrolladas aplicaciones destinadas a evaluar de forma masiva el conjunto de estudios requeridos para dicho análisis.

La priorización de inversiones en el mantenimiento vendrá determinada por la rentabilidad de las actuaciones tipo previstas para una determinada obra de drenaje transversal según la naturaleza y la entidad de las patologías observadas. De esta

forma no solo es posible priorizar el tipo de actuación necesaria en un determinado momento según criterios económicos, sino también analizar y comparar la rentabilidad del conjunto global de actuaciones preventivas a llevar a cabo en una infraestructura de transporte o en el conjunto de la red.

Este trabajo pone de manifiesto la necesidad de contar con una metodología objetiva apoyada por aplicaciones suficientemente robustas como para analizar de forma masiva el nivel de riesgo asociado a sistemas viarios lineales por efecto del fallo en las obras de drenaje transversal. El análisis conjunto de esta información permitirá en última instancia constituir un sistema de alerta y apoyo a los organismos gestores de infraestructuras a la hora de planificar y ejecutar inversiones en el mantenimiento preventivo de este tipo de estructuras.

REFERENCIAS

- Balkham M., Fosbeary C., Kitchen A., Rickard C., 2010. *Culvert design and operation guide*. CIRIA Publishing, London, UK.
- Federal Highway Administration, 2010. *Culvert assessment and decision-making procedures manual*. U.S.Department of Transportation
- Galán A., Diaz S., Gonzalez J., 2016. Erosión local a la entrada y a la salida de obras de drenaje transversal. XXVII Congreso latinoamericano de Hidráulica, 2016.
- Najafi M., Bhattachar, D., 2010. Development of a culvert inventory and inspection framework for asset management of road structures. *Journal of King Saud University-Science* 32, 243-254.
- Ministerio de Fomento, 2015. Instrucción 5.2-IC Drenaje Superficial.
- Perrin J., Jhaveri C., 2003. The economic costs of culvert failures. Transportation Research Board, USA.
- Roads and Traffic Authority, 2010. *Culvert risk assessment guideline*. NSW, Australia.
- Salem O., Salman B., Najafi M., 2012, Culvert asset management practices and deterioration modelling. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 2285, 1-7.

Resaltos hidráulicos al pie de aliviaderos de vertido libre

José M. Carrillo^a, Luis G. Castillo^a, Juan T. García^a y Francisca Marco^a

^aGrupo Hidr@m, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Cartagena, Paso Alfonso XIII, 52, 30203, Cartagena, España; jose.carrillo@upct.es; luis.castillo@upct.es; juan.gbermejo@upct.es; fmc6@alu.upct.es

Línea temática | D. Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

En el reintegro de los caudales evacuados por los órganos de desagüe, la disipación de energía en los cuencos de amortiguación se produce principalmente mediante el proceso de turbulencia. En las dos tipologías básicas (cuencos de resalto y cuencos de vertido libre) aparecen fenómenos de alta turbulencia y aireación, que no pueden ser convenientemente estudiados únicamente con las metodologías clásicas.

Teniendo en cuenta esta problemática, y partiendo de los distintos resultados experimentales obtenidos en el estudio de vertidos libres, se está llevando a cabo la caracterización de este tipo de flujos registrando y analizando velocidades, presiones y tasas de aireación.

Los mecanismos de disipación de energía que se producen en los chorros de vertido libre pueden dividirse en: (a) aireación y desintegración del chorro durante su caída, (b) arrastre de aire y difusión del chorro en el colchón de agua, (c) impacto con la solera, y (d) recirculación en cuenco (Castillo et al., 2016; Castillo y Carrillo, 2017). En la Figura 1 se muestra el esquema de las distintas partes.

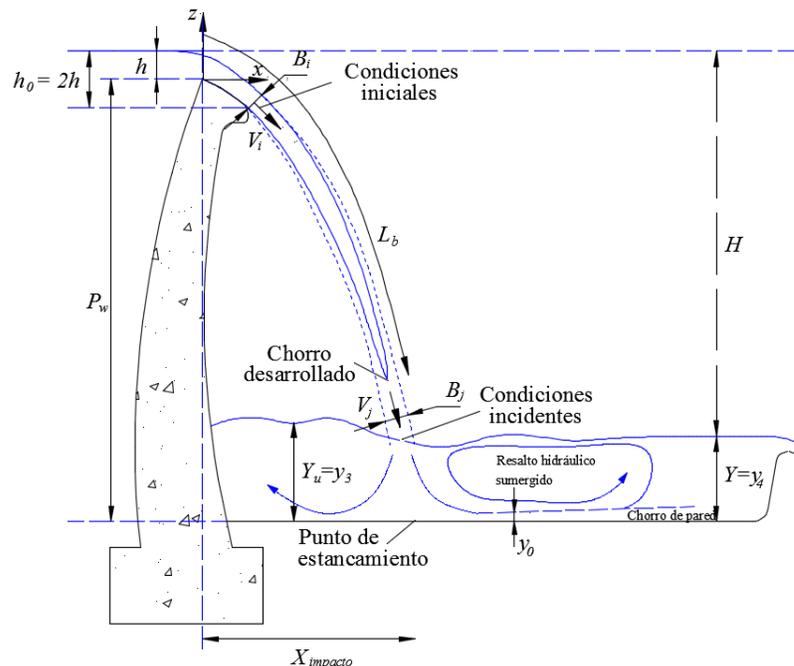


Figura 1 | Esquema de chorros rectangulares de caída libre y cuenco de disipación.

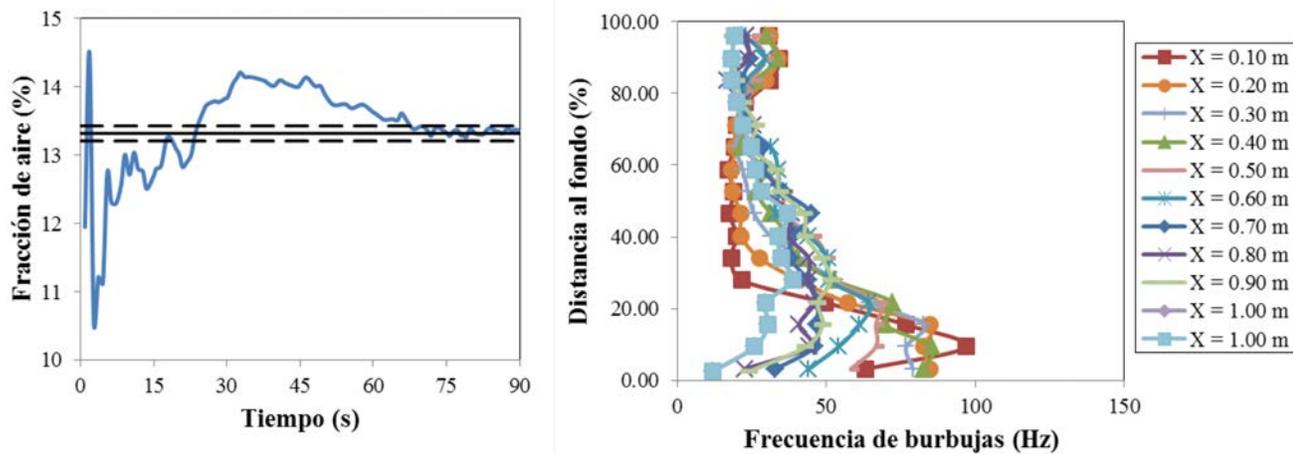
El Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Politécnica de Cartagena cuenta con una infraestructura diseñada específicamente para el estudio de chorros turbulentos y disipación de energía en aliviaderos de vertido libre. La infraestructura está diseñada para analizar caudales entre 10 y 200 l/s, alturas de vertido entre 2.20 y 3.50 m, y diferentes colchones de agua.

La metodología de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) permite simular la interacción entre distintos fluidos, como es el caso de los flujos bifásicos agua-aire que aparecen en el fenómeno de vertido libre. Los métodos implementados en

CFD se basan en la solución numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes y promediado de Reynolds (RANS), junto con modelos de turbulencia de distintos grados de complejidad. De este modo, los resultados obtenidos en laboratorio se contrastan y complementan con la modelación numérica.

En este trabajo se analizan y comparan las velocidades medidas en el cuenco de disipación en laboratorio, con las simulaciones realizadas con el programa comercial ANSYS CFX (versión 18).

Para avanzar en el conocimiento del fenómeno de vertido libre, se están realizando diferentes campañas de medida de velocidades con equipos de fibra óptica para caracterizar las velocidades y tasas de aireación en el seno del resalto hidráulico sumergido, obteniéndose parámetros como la fracción de vacío, frecuencia de burbujas y tamaños de burbujas (Chanson y Brattberg, 2000; Murzyn et al., 2005). En la Figura 2 se muestra la convergencia temporal de la fracción de aire y la frecuencia de detección de burbujas por la sonda de fibra óptica.



Paralelamente, se están realizando simulaciones numéricas en régimen transitorio. Se emplean modelos de turbulencia isotrópicos de dos ecuaciones para analizar la mayoría de las variables que intervienen en el fenómeno, y modelos de cierre de segundo orden para obtener una mejor caracterización de la turbulencia del chorro.

REFERENCIAS

- ANSYS Inc. 2016. *ANSYS CFX. Reference Guide. Release 18.0.*
- Castillo, L.G., Carrillo, J.M. 2017. Comparison of methods to estimate the scour downstream of a ski jump. *International Journal of Multiphase Flow*. 92, 171-180.
- Castillo, L.G., Carrillo, J.M., Bombardelli, F.A. 2016. Distribution of mean flow and turbulence statistics in plunge pools. *Journal of Hydroinformatics*, 19(2), 173-190.
- Chanson, H., Brattberg, T. 2000. Experimental study of the air-water shear flow in a hydraulic jump. *International Journal of Multiphase Flow*. 26, 583-607.
- Murzyn, F., Mouaze, D., Chaplin, J.R. 2005. Optical fibre probe measurements of bubble flow in hydraulic jumps. *International Journal of Multiphase Flow*. 31, 141-154.

Gestión de la calidad y del alcance en proyectos y obras hidráulicas

Rafael Díaz Martínez

Sociedad Mercantil Estatal Aguas de las Cuencas de España, S.A. (ACUAES), Calle Colón 21-3º. 36201 Vigo
E-mail: rafael.diaz@acuaes.com

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Completar la redacción de un proyecto o llevar a cabo la dirección y la ejecución de una obra son actividades ciertamente complejas. En cualquiera de los casos se trata de un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto único en el que se deben cumplir objetivos definidos previamente en relación con el alcance, coste, plazo y calidad.

Es habitual afrontar esta actividad profesional con una elevada dosis de voluntarismo y de intuición. Ello se debe a que el bagaje formativo está orientado casi exclusivamente con la solución de problemas de naturaleza eminentemente técnica y de una complejidad académica muy superior a lo que la práctica profesional común exige en la mayor parte de las situaciones. Por ello, solemos utilizar un planteamiento reactivo que ponemos en funcionamiento para resolver los problemas en la medida que se vayan presentando. Realizamos, por tanto lo que se puede denominar como *gestión de crisis*. Tenemos la esperanza de que la destreza en resolución de problemas de naturaleza abstracta nos lleve a buen puerto en las cuestiones más prácticas. ¿Qué riesgos tiene este modo de entender la gestión de los proyectos o las obras? ¿Son suficientes las competencias técnicas? ¿Qué hay de las habilidades de gestión?

Otra cuestión es saber cuándo nuestra gestión ha sido exitosa. No cabe duda que lo es si acabamos en el plazo y en el coste previsto, pero ¿qué pasa con el alcance y la calidad? La respuesta no es fácil. Para empezar debíamos tener claro el significado de ambos términos, no tanto el que nos parezca en el marco de nuestra comunicación ordinaria, si no en el significado técnico establecido por estándares aceptados en la comunidad técnica (normas ISO, por ejemplo). El paso siguiente es saber quién, cómo y cuándo se define el alcance y la calidad de un proyecto o de una obra.

No es un descubrimiento constatar que las necesidades de gestión de los proyectos y obras ha cambiado claramente en las últimas décadas. Las exigencias son mayores y más variadas y trascienden a los aspectos constructivos e incluso a los exclusivamente técnicos. Se precisa la integración de múltiples disciplinas profesionales y contar con restricciones administrativas muy amplias e intrincadas. Las obras hidráulicas son un ejemplo claro de ello ya que hasta un pequeño bombeo exige un cuidadoso diseño para que su operación y mantenimiento sea seguro y adecuado, las instalaciones electromecánicas deben ser adecuadamente seleccionadas y controladas y han de estar verificadas por organismos variados. Evidentemente, esto se complica hasta el extremo en una EDAR, más aún si debe ejecutarse en el marco de una gestión ambiental condicionada por una DIA.

Esta mayor complejidad debiera tener respuesta en el modo en que afrontamos el diseño y ejecución de las obras. Una de las vías es la aplicación de estándares de gestión de proyectos, como puede ser el del PMBOK, desarrollado por el Project Management Institute (PMI).

En la ponencia se introducirán los conceptos clave y se desarrollarán los aspectos de la gestión de requisitos, calidad y alcance como respuesta organizada para la gestión de problemas diversos y complejos para los que las habilidades eminentemente técnicas se muestran insuficientes. Este planteamiento se basa en la experiencia de Acuaes en la zona de Galicia donde se ha desarrollado e implantado un sistema de gestión integrado basado en el PMBOK para llevar a cabo con la mayor eficiencia posible y con garantías de éxito los más de 300 millones de euros en proyectos y obras de muy diversa naturaleza y complejidad que se debían ejecutar con fuertes restricciones presupuestarias y de plazo.

Caracterización del comportamiento de válvulas reductoras de presión proporcionales

Salvador García Todolí^a, Pedro L. Iglesias Rey^b y F. Javier Martínez Solano^c

^a Dpto. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia. sgtodoli@upv.es

^b Dpto. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia. piglesia@upv.es

^c Dpto. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia. jmsolano@upv.es

Línea temática | D. Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Las válvulas de automáticas o de control son un elemento esencial para el control y operación de las redes de distribución de agua. Por lo general, operan autónomamente manteniendo una consigna de referencia (presión, caudal, pérdida,...). Las válvulas reductoras de presión proporcionales (VRRP) son un tipo particular de válvulas reductoras de presión (VRP) previstas para grandes reducciones de presión. La diferencia de las VRRP respecto de las PRV convencionales estriba en teóricamente la reducción de presión es proporcional. Es decir, la relación entre la presión de entrada y la presión de salida (λ) es constante.

Para ello las PPRV deben disponer de una doble cámara que cuyo llenado y vaciado controla el movimiento del eje de accionamiento la misma. La hipótesis de reducción proporcional está basada en el balance de fuerzas que se produce sobre el vástago de la válvula (Prescott and Ulanicki 2008). Sin embargo, los ensayos de laboratorio realizados muestran que el parámetro λ no es constante. Es por ello que el presente trabajo se centra en estudiar los parámetros que influyen en el ratio de reducción λ , así como construir un modelo matemático de representación del comportamiento de este tipo de válvulas.

Para ello se aborda en primer lugar un estudio experimental una selección de diferentes VRRP comerciales. Para ello se han seleccionado hasta 6 válvulas diferentes (ver Tabla 1) de diferentes fabricantes y con diferentes mecanismos de cierre. Los ensayos experimentales realizados sobre dichas válvulas se han realizado en el Laboratorio Justo Nieto del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y en el laboratorio de pruebas hidráulicas de Bermad Europe en Pallejá (Barcelona).

Tabla 1

Nº Válvula	Modelo	Diámetro (mm)	Tipo de cierre de la válvula
1	A	80	Asiento plano
2	A	80	Asiento plano con cierre especial para bajos caudales
3	B	80	Asiento plano
4	C	50	Asiento plano
5	D	50	Asiento plano
6	D	50	Asiento plano con cierre especial para bajos caudales

Los resultados obtenidos (ver Figura 1) muestran como existen modelos en los que la hipótesis de reducción proporcional de la presión (Válvula 4) se mantiene constante. Sin embargo, otros modelos (Válvula 4) dicho ratio λ no permanece constante, sino que varía tanto con la presión como con la velocidad. En líneas generales, el análisis de los datos experimentales muestra cómo el ratio λ aumenta con la velocidad de circulación del agua por el interior de la válvula. Además, el ratio de reducción varía de forma menos acusada cuando las presiones a la entrada son mayores.

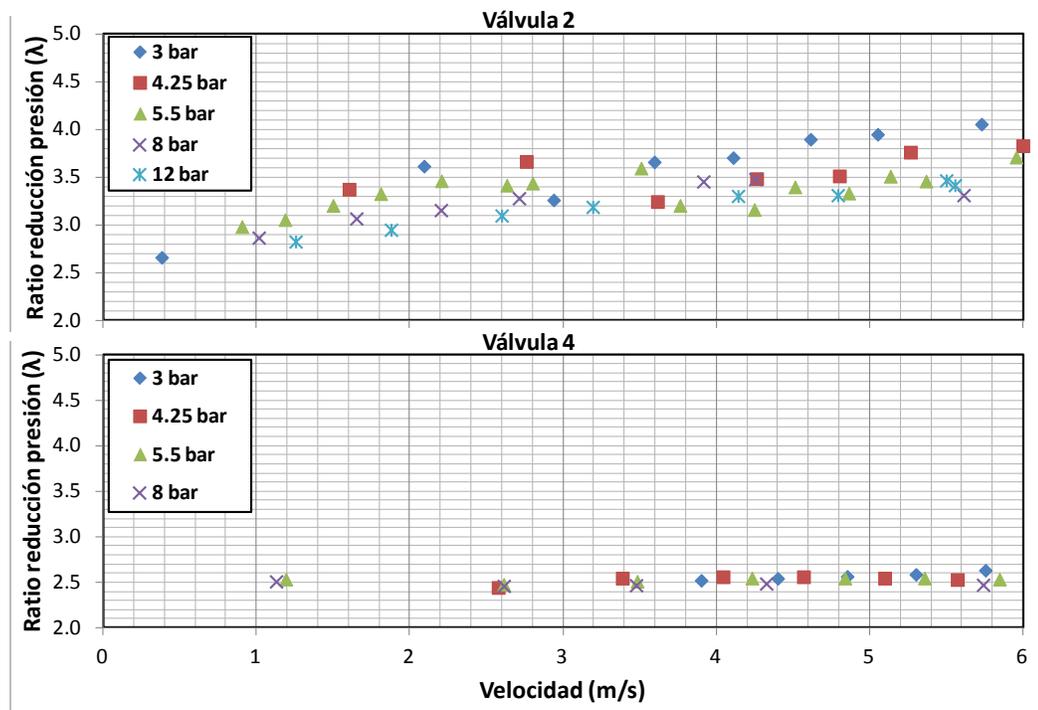


Figura 1 | Resultados de los ensayos de la Válvula 2 y de la Válvula 4.

Finalmente se propone un modelo de representación del comportamiento de la válvula diferente. Dicho modelo supone un balance de fuerzas, si bien considerando que en el interior de la válvula hay cuatro zonas de presión claramente diferenciadas en lugar de únicamente 2 como propone Dvir (1997). Este nuevo modelo introduce la necesidad de caracterizar un nuevo parámetro en la válvula: la relación entre la de la resistencia en el asiento de la válvula y la resistencia total de la válvula para cada grado de apertura. De esta forma, la obtención de este parámetro permite explicar los comportamientos experimentales como los representados en la Figura 1.

REFERENCIAS

Dvir Y (1997). *Flow control devices*. Lehavot Habastan (Israel).

Prescott S, Ulanicki B (2008) Improved control of pressure reducing valves in water distribution. *Journal of Hydraulic Engineering* 134(1), 56–65.

Caracterización de microturbina hidrocínética mediante modelo numérico de dinámica de fluidos computacional

García, L.^{a1}; Fernández, A.^{a2}; Rodríguez N.^{a3}; Álvarez, E.^{a4}; Meana, A.^{b1}; Fernández, J.^{b2}

^a Área de Ingeniería Hidráulica, Departamento de Energía. Escuela Politécnica de Mieres-C/Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n, Mieres. E-mail:

^{a1}garciaexpositolaura@gmail.com, ^{a2}fejima5@gmail.com, ^{a3}noelrodriguez5@gmail.com, ^{a4}edualvarez@uniovi.es.

^b Área de Mecánica de Fluidos, Departamento de Energía. Escuela Politécnica de Gijón-C/Wifredo Ricart s/n Gijón.

E-mail: meanaandres@uniovi.es, ^{b2}jesusfo@uniovi.es.

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Introducción

En el año 2012, la demanda energética mundial fue de 21.431 TWh (Energy Agency, 2012) estimándose el potencial energético anual asociado al aprovechamiento de la energía de las mareas en unos 7.800 TWh (OES, 2012). No obstante, para su aprovechamiento utilizando la tecnología actualmente disponible basada en presas de marea (aprovechamiento de las diferencias de nivel provocadas por las mareas) y turbinas hidrocínéticas (aprovechamiento de las corrientes producidas por las mareas) únicamente se estima aprovechar 800 TWh anuales (Soerensen et al 2008).

Actualmente los impedimentos medioambientales han supuesto un importante freno a la construcción de presas de marea, lo que ha contribuido al aprovechamiento de la energía de las corrientes marinas utilizando principalmente grandes turbinas (>500 kW) (Charlier et al 2007) sumergidas con diseños similares a los generadores eólicos. Debido a la elevada profundidad necesaria para la instalación de estos equipos, se precisa de grandes infraestructuras off-shore que requieren de elevadas inversiones y suponen unos costes de mantenimiento y operación elevados, inviabilizando estos proyectos. Para solventar este problema, en los últimos años se han propuesto diseños de microturbinas de baja potencia para aprovechar las reducidas velocidades de flujo (entre 0,5 y 2 m/s) de las corrientes marinas en emplazamientos cercanos a la costa (Álvarez et al 2013).

La investigación que se presenta consiste en la caracterización de una microturbina hidrocínética mediante un modelo numérico de dinámica de fluidos computacional (Computational Fluid Dynamics, CFD) (Álvarez et al 2016). Forma parte de la primera fase de un trabajo, el cual permitirá obtener información necesaria para una posterior construcción de un modelo físico de microturbina, con el fin de ser utilizada en el banco de ensayos instalado en la Escuela Politécnica de Mieres (EPM, Universidad de Oviedo).

Desarrollo

El perfil hidrodinámico es del tipo DU-06-W-200 (Airfoil Tools) y sus características geométricas se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1 | Características geométricas de la microturbina.

Perfil	Radio (mm)	Altura (mm)	Nº Palas	Cuerda (mm)	Solidez	Coefficiente velocidad
DU-06-W-200	100	200	3	11,111	1/3	3

En la Figura 1, se muestra el perfil seleccionado de acuerdo a las características indicadas en la Tabla 1, implementado en CFD y la velocidad relativa de la corriente de agua al incidir sobre los álabes de la turbina, para una corriente de 1,5 m/s y una velocidad de giro de 200 rpm.

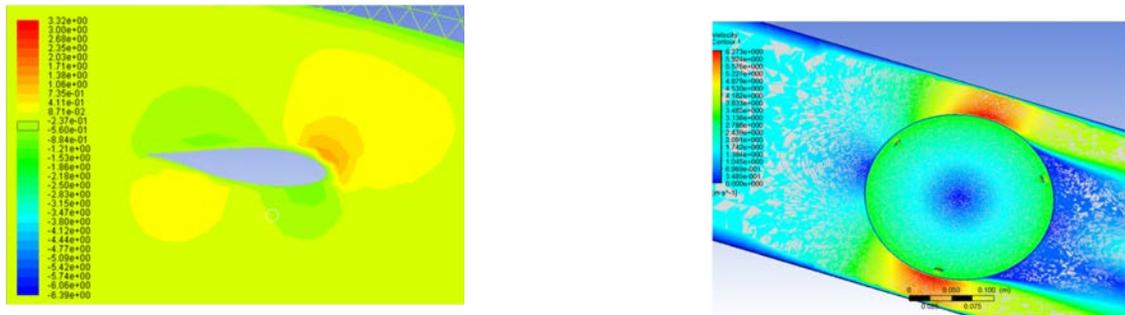


Figura 1 | Simulaciones de álabe y turbina en CFD.

La simulación numérica ha consistido en ensayar varias velocidades angulares con un rango de velocidades de flujo de 0,5 y 1,5 m/s. Los resultados obtenidos se detallarán en la versión final. Se han impuesto como condiciones de contorno las correspondientes al banco de ensayos: canal de sección rectangular de 0,30 m de ancho y 0,50 m de calado.

Para simular la dispersión de los flujos libres y obtener la afección de la turbulencia sobre la microturbina se utilizará el modelo “k-w estándar”, al considerarse el más adecuado para este tipo de problema.

En el artículo completo se presentará la caracterización completa de la microturbina hidrocínética, indicándose los siguientes valores: velocidades máximas y mínimas de funcionamiento, presiones en los álabes, esfuerzos en la estructura, pares máximos y mínimos, curva del coeficiente de potencia (C_p), etc. Todos estos resultados nos servirán para dimensionar los elementos de la turbina y seleccionar los componentes comerciales más adecuados para una posterior construcción física.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto Hidrocimar, con financiación del Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias (IDEPA) y la Unión Europea.

REFERENCIAS

- Álvarez, E., Rico, M., Fernández, D., Gutiérrez, A., Fernández, J. 2016. Obtaining energy from tidal microturbines: A practical example in the Nalón River. *Applied Energy* 183 (2016) 100 – 112.
- Álvarez, E., Manso, A., Gutiérrez, A., Fernández, J., Secades, M. 2013. Obtaining renewable energy from tidal currents in the Avilés Port: New services for citizens. *IEEE International Conference of New Concepts Smart Cities Foster Public-Private Alliances*.
- Charlier, E. 2007. The Rance TPP tides provide renewable and sustainable power generation. *Renewable and sustainable energy reviews, Volume 11, Issue 9, December 2007, 2032 – 2057*.
- Wilcox, D. 1998. Turbulence Modelling for CFD. DCW Industries Inc, Canada, California.
- Iea, Key World Energy statistics. Int Energy Agency; 2012. <http://dx.doi.org/10.1787/22202811>
- OES, An International Vision for Ocean Energy, 2012. http://www.powerprojects.co.nz/files/pictures/international_vision_brochure_v1.pdf.
- Soerensen HC, Weinstein A. Ocean Energy: Position paper for IPCC. Scoping Conf Renew Energy 2008:8.
- Perfil DU-06-W-200 <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=du06-w-200-dt>

Diseño de sistemas de Captación de Fondo

Juan T. García^a, Luis G. Castillo^a, Patricia L. Haro^b, José M. Carrillo^a

^a Grupo Hidr@m, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Cartagena, Paso Alfonso XIII, 52, 30203, Cartagena, España; juan.gbermejo@upct.es; luis.castillo@upct.es; jose.carrillo@upct.es.

^b Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
patricia.haro@epn.edu.ec

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Los ríos de montaña se caracterizan por tener pendientes longitudinales fuertes, lluvias intensas de corta duración, grandes variaciones de caudal y alto contenido de sedimento con escasos finos (agua limpia en época de estiaje), Krochin (1968). Las zonas semiáridas, en cambio, se caracterizan por tener escasas precipitaciones y gran variabilidad espacio – temporal, baja humedad de los suelos, escasez de cubierta vegetal, morfología abrupta y con escorrentías con gran capacidad de transporte de sedimentos (García, 2016). En las cuencas de ríos de montaña, se han utilizado captaciones tirolesas o caucásicas por su capacidad de captación derivando la mínima cantidad de sedimentos, lo que facilita su operación y mantenimiento cuando se ubican en lugares de difícil acceso (Krochin, 1978). En las cuencas semiáridas se plantea la implementación de captaciones con reja de fondo en las partes altas para captar caudales de escorrentía en tiempo de lluvias. Sin embargo, la alta capacidad de arrastre de sedimentos en este tipo de cuencas precisa el estudio detallado de los parámetros de diseño a fin de optimizar el dimensionamiento de la estructura y garantizar la captación de caudales de avenida con elevada capacidad de transporte de sólidos (Castillo y Lima, 2010; García, 2016)

La longitud de reja es una variable de importancia en el diseño de un sistema de captación de fondo. El presente trabajo recoge diversas formulaciones para el dimensionamiento de rejillas de fondo en captaciones caucásicas o tirolesas. Los valores de longitud de reja para diversos caudales derivados se presentan en forma adimensional y para relaciones de área libre (espacio entre barrotes) sobre área total de 0.28 y 0.60. Dichas longitudes manifiestan importantes diferencias en función de las condiciones para las que fueron obtenidas en cuanto al tipo de barras -circulares o planas-, espaciado entre barras, o la pendiente adoptada por la reja. Presentar las longitudes para derivar un determinado caudal de forma adimensional se constituye en una herramienta de ayuda en el diseño de los sistemas de captación de fondo y que complementa a los trabajos anteriores (Castillo y Lima, 2010). A la vista de los gráficos presentados se observa la importante influencia en la longitud de reja de parámetros como el índice de huecos y la forma de las barras seleccionadas. Así, en función del tipo de barras (circulares o planas) se encuentran diferencias de hasta el 35% en el caso del índice de huecos $m = 0.60$ y de hasta el 47% para $m = 0.28$. La mayoría de formulaciones no consideran la obstrucción de las rejillas como consecuencia del depósito de sedimentos en el espacio entre los barrotes, salvo el caso de Krochin (1968) que propone coeficiente de obstrucción de hasta el 30%, que ha sido validado experimentalmente por Castillo et al. (2016).

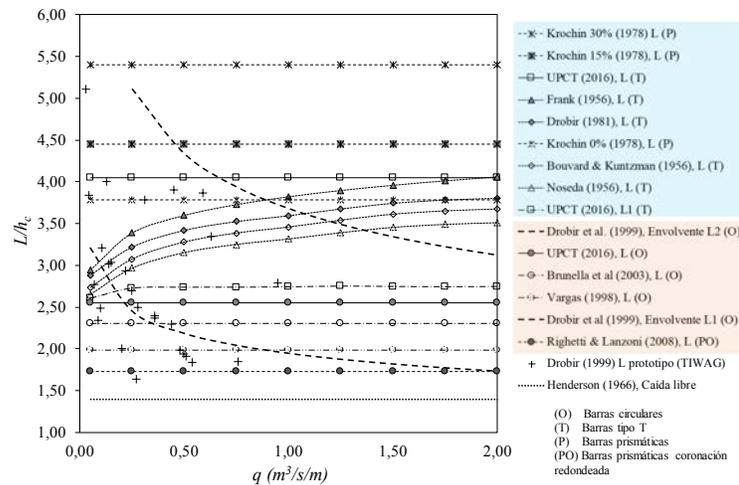


Figura 1 | Relación Longitud de reja - calado crítico en función del caudal máximo de captación para $m = 0.60$.

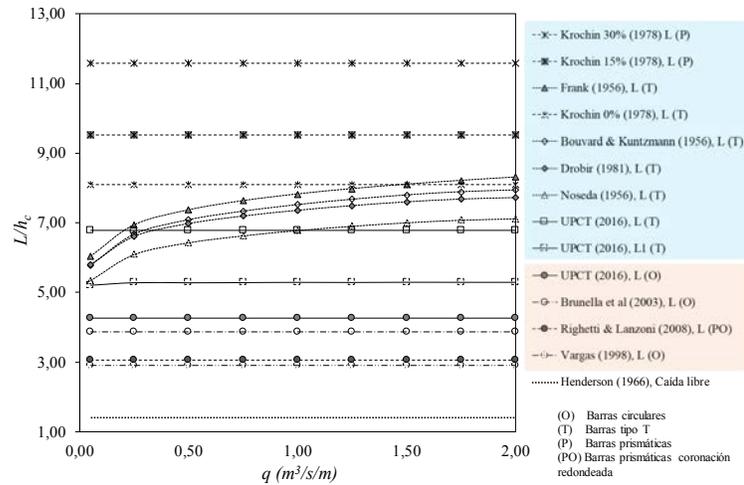


Figura 2 | Relación Longitud de reja - calado crítico en función del caudal máximo de captación para $m = 0.28$.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Fundación Séneca de la Región de Murcia – España para el proyecto “Optimización de los sistemas de captación de fondo para zonas semiáridas y caudales con alto contenido de sedimentos. Definición de los parámetros de diseño”. Referencia 19490/PI/14.

REFERENCIAS

- Castillo, L. G., Lima, P. (2010). Análisis del Dimensionamiento de la Longitud de Reja en una Captación de Fondo. In IAHR (Ed.), IAHR AIIH XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Punta del Este.
- Drobir, H., Kienberger, V., Krouzecky, N. (1999). The wetted rack length of the Tyrolean weir. In IAHR-28th Congress. Graz.
- García, J. T. (2016). Estudio experimental y numérico de los sistemas de captación de fondo. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Krochin, S. (1978). Diseño Hidráulico. (E. Universitaria, Ed.) (Segunda). Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Clasificación energética de instalaciones con bombas sumergidas.

Giner González, C.^{a1}, Gómez Pajares, P.^{a2}, Soriano Olivares J.^{b1}, García-Serra García J.^{b2}, Casany Pérez, M.^{a3}

^aGlobal Omnium-Aguas de Valencia. ^{a1}cargigon@globalomnium.com, ^{a2}pegopa@globalomnium.com, ^{a3}mcasany@globalomnium.com
^bITA-Dep. Ingeniería Hidráulica - Universitat Politècnica de València. ^{b1}jasool@ita.upv.es ^{b2}jgarcias@ita.upv.es

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

En la actualidad existen numerosas iniciativas que pretenden reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles, bien a partir del uso de fuentes de energía alternativas, o mediante la optimización de las instalaciones existentes. En el segundo de los escenarios, se precisa de un diagnóstico sobre el funcionamiento actual de la instalación, para posteriormente auditar las medidas necesarias para su mejora (Gómez et al 2015; Giner et al, 2015). Para ello, y siguiendo las directivas europeas, es necesario establecer los Requisitos Mínimos de Eficiencia Energética, también conocidos como MEPS (*Minimum Energy Performance Standards*), de todos los elementos que forman parte de cualquier sistema.

Estas clasificaciones han tenido una gran aceptación en los últimos años, como muestra la conocida clasificación establecida para electrodomésticos o incluso para edificios (a partir de las letras de la A a la G). Pero en el ámbito de las instalaciones hidráulicas, no todos los componentes han sido considerados por igual. Actualmente es posible clasificar la eficiencia de los motores eléctricos a partir de la IEC 60034-30, que utiliza las clases IE1 a IE4. Sin embargo, no sucede lo mismo en otros componentes de las estaciones de bombeo, ni de forma aislada ni a nivel global, siendo aún más escasa cuando se habla de sondeos, bombas y motores sumergidos (de hecho, los motores sumergibles están excluidos de la normativa mencionada).

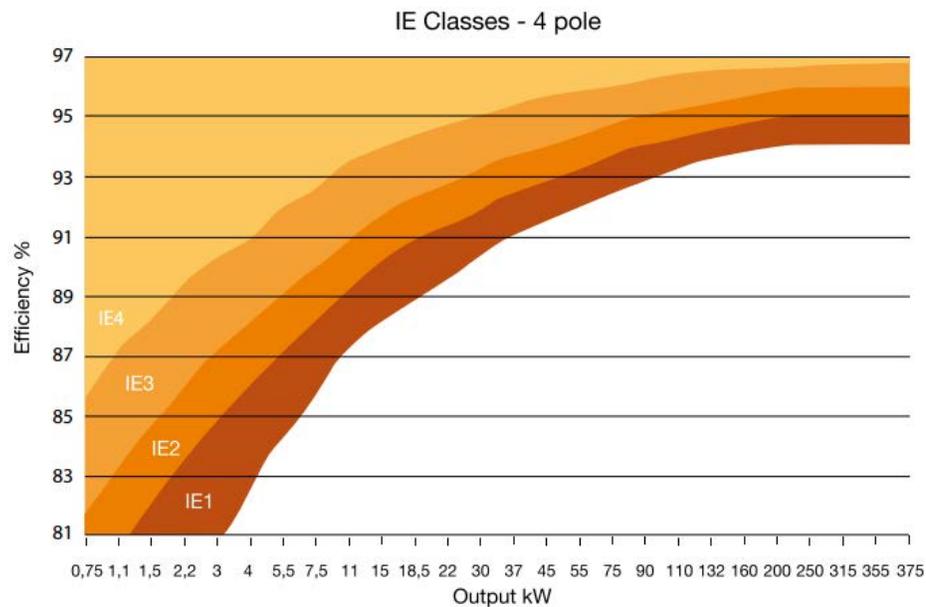


Figura 1 | Clasificación energética de motores eléctricos (IEC 60034-30).

Las bombas de pozo son responsables de gran parte del consumo eléctrico en instalaciones hidráulicas. Los pozos son muy usuales en zonas donde el recurso hídrico es escaso y la situación obliga a la extracción de agua proveniente del subsuelo. Para la comparación de la eficiencia entre equipos de bombeo es necesario hacerlo de forma analítica, evaluando el rendimiento energético del equipo (o conjunto) o de un indicador asociado a este rendimiento. Adicionalmente se sabe que el rendimiento

V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

del equipo de bombeo varía, y mucho, dependiendo del punto de funcionamiento. Debido a la multitud de factores que intervienen en la eficiencia de estas instalaciones se hace necesaria la clasificación para su correcto diagnóstico. Esta clasificación tendrá en cuenta las pérdidas energéticas introducidas por los equipos que forman parte de la instalación: variador de frecuencia, motor eléctrico, bomba y las pérdidas en líneas eléctricas y tubería de impulsión del pozo. En consecuencia, se define una escala de valores de rendimiento, y en función de estos rangos, la asignación de una clasificación energética a la instalación.

En este artículo se establece un etiquetado energético de la instalación de bombeo. Para ello se realiza el estudio del rendimiento energético de los sondeos y la comparación entre ellos. En primera instancia se estudian un mínimo de 50 sondeos. De esta comparación se deriva la clasificación en función de cuan eficiente es la instalación y se define el Índice de Eficiencia de Bombeo: PER 1 a PER 5 (*Pumping Efficiency Ratio*):

Tabla 1 | Clasificación energética propuesta para equipos de bombeo sumergidos (rangos tentativos).

	Rendimiento (%)	IB (Wh/m ³ /mca)
PER 1	Rto < 51,4	IB > 5,30
PER 2	51,4 < Rto < 60,5	5,30 > IB > 4,50
PER 3	60,5 < Rto < 71,6	4,50 > IB > 3,80
PER 4	71,6 < Rto < 80,1	3,80 > IB > 3,40
PER 5	80,1 < Rto	3,40 > IB

Si bien la medida del rendimiento global es posible, la distribución de las pérdidas energéticas se debe hacer a través de estimaciones razonables, pues la inmensa mayoría de instalaciones no disponen de suficiente instrumentación de medida para calcular los rendimientos de cada elemento, siendo técnicamente inviable la medición de alguno de ellos (potencia en el eje en bomba sumergida, pérdidas eléctricas en la línea...). A partir del índice de bombeo se puede fácilmente expresar este rendimiento en términos económicos, unidades más útiles para priorizar las instalaciones a estudiar. Los costes energéticos anuales del sondeo vendrán determinados por la siguiente expresión:

$$\epsilon_{\text{energia,anual}} = IB \cdot V_{\text{anual}} \cdot H_{\text{bomba}} \cdot \epsilon/kWh_{\text{medio}} \quad (1)$$

Cualquier mejora de rendimiento afecta directamente a este valor, pudiéndose estimar los ahorros de forma inmediata, siendo muy útil para priorizar los estudios y/o inversiones desde el punto de vista económico y empresarial.

REFERENCIAS

- Gómez, P., García-Serra, J., Soriano, J., Giner, C. 2015. Procedimiento para la selección de la estrategia de regulación más adecuada en estaciones de bombeo. *Jornadas de Ingeniería del Agua, octubre 21-22, Córdoba, España, 1191-1202.*
- Giner, C., Gómez, P., Sanz, F., García-Serra, J., Soriano, J. 2015. Auditoría Energética de estaciones de bombeo. Caso de Estudio. *Jornadas de Ingeniería del Agua, octubre 21-22, Córdoba, España, 641-654.*

Procedimiento para la selección óptima de equipos de bombeo. Caso de estudio.

Gómez Pajares P.^{a1}, Giner González C.^{a2}, Soriano Olivares J.^{b1}, García-Serra García J.^{b2}

^aGlobal Omnium-Aguas de Valencia. ^{a1}pegopa@globalomnium.com ^{a2}cargigon@globalomnium.com

^bITA-Dep. – Ingeniería Hidráulica. Universitat Politècnica de València. ^{b1}jasool@ita.upv.es ^{b2}jgarcias@ita.upv.es

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

En los últimos años el precio de la energía ha sufrido una tendencia alcista, y se prevé que siga así, pues las fuentes de energía tradicionales son un recurso limitado. Las energías renovables todavía no tienen suficiente penetración en las instalaciones de bombeo y, como consecuencia, el aspecto energético es el que más peso tiene en el coste del ciclo de vida de los equipos de bombeo. Éste es uno de los factores que marcan la diferencia entre las compañías que gestionan infraestructuras hidráulicas, convirtiéndose en una de sus líneas prioritarias de trabajo e investigación (Gómez et al 2015; Giner et al, 2015).

Cuando se habla de optimizar un bombeo existente, antes de abordar el estudio, hay que identificar la oportunidad. Debe existir un sistema, definido a través de indicadores, que avise o diagnostique el estado actual de eficiencia del bombeo. De esta forma, superado cierto umbral, existe un potencial de mejora razonable como para abordar la evaluación de propuestas de mejora. Reconocido el momento de actuar, cualquier proceso de optimización energética que se considere, obliga a tener en cuenta multitud de variables. Éstas deben ser analizadas para poder simular alternativas concretas, pues es inviable la evaluación de todas las soluciones posibles. El procedimiento empieza por la criba inicial de soluciones, siendo necesario para ello herramientas de visualización rápidas e intuitivas.

Una vez acotadas las soluciones y debido al coste energético que supone la operación, se convierte en crucial la elección de un equipo altamente eficiente en las condiciones reales de funcionamiento. Esto se consigue mediante el análisis de los datos de rendimiento en el espacio H-Q frente al histórico de puntos de funcionamiento de la instalación, así como la cuantificación de ahorros desde el punto de vista energético, económico y medioambiental (kWh, € y kgCO₂). El análisis económico se realiza en formato de coste de ciclo de vida, estándar utilizado en los sistemas de gestión energética (ISO 50.001), concepto fundamental para la ayuda a la toma de decisiones en la compra de un equipo.

El presente artículo es continuación de los nombrados y publicados en JIA 2015. Se trata de un caso práctico de selección de equipos de bombeo en una instalación real. La estación de bombeo aspira agua de un depósito e inyecta directamente a red. La instalación funciona con dos consignas de presión; noche y día. Siendo así, el punto de funcionamiento varía según la demanda y la consigna de presión que corresponda. La nueva estrategia de bombeo implica el cambio de dos bombas. La instalación incorpora un sistema de monitorización mediante la que se realiza el seguimiento de los indicadores y se registran los históricos de funcionamiento (registro de presiones y caudales cada hora durante 3 meses). Con estos datos es posible obtener el indicador Índice de Bombeo (IB: Wh/m³/mca) que representa el comportamiento energético de la instalación en función de la presión de entrega y el caudal bombeado, y que puede ser utilizado como indicador que advierta sobre el instante en el que puede ser rentable la sustitución de un equipo.

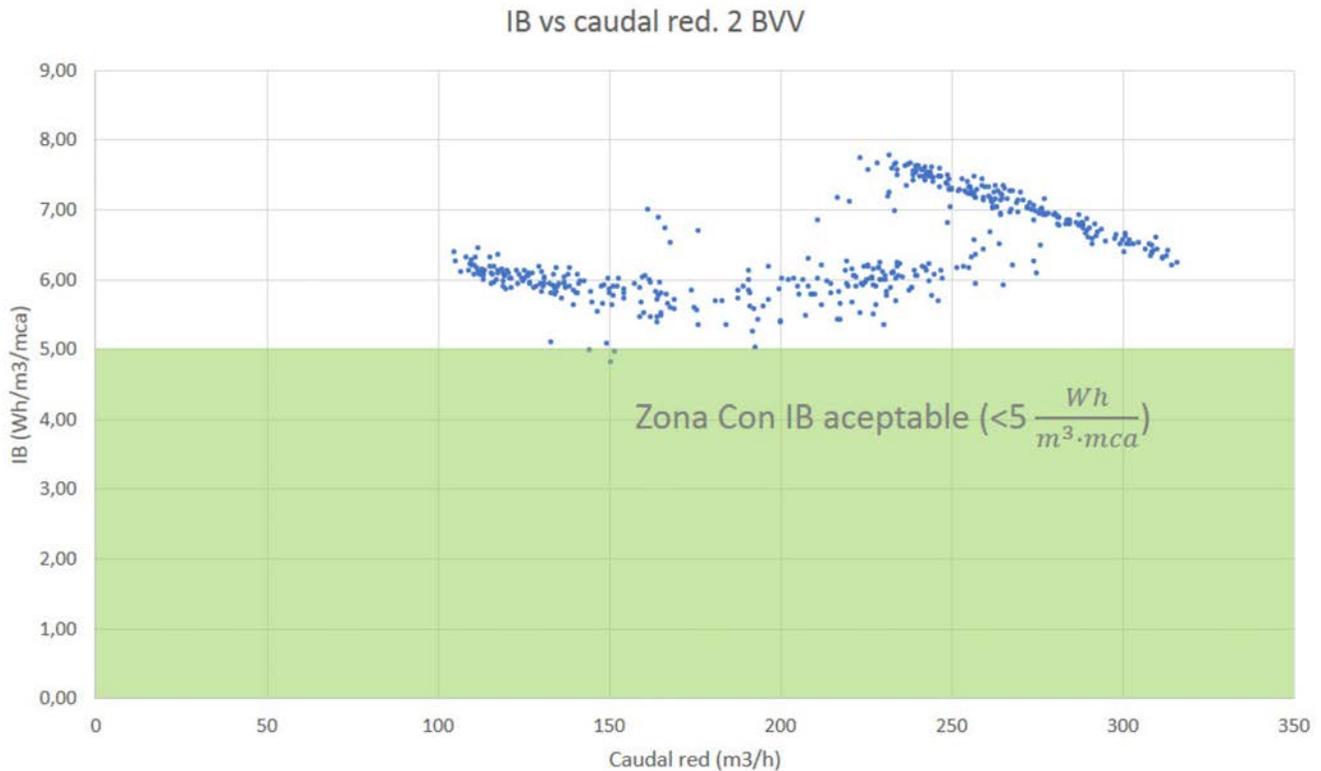


Figura 1 | Visualización del valor del indicador IB (Índice de Bombeo).

Para la composición del coste del ciclo de vida se consultan los archivos de mantenimiento con los que cuenta la empresa. También es necesario consultar con los fabricantes de los equipos que han superado el filtro inicial para conocer y valorar las acciones de mantenimiento que serían necesarias durante el funcionamiento.

Los resultados obtenidos han dado soporte para la decisión en cuanto a la selección de los equipos. La instalación de estos equipos, así como su puesta en marcha, se realizará próximamente. Tras la puesta en marcha de los nuevos equipos, se realizará el seguimiento de sus indicadores de desempeño.

REFERENCIAS

- Gómez, P., García-Serra, J., Soriano, J., Giner, C. 2015. Procedimiento para la selección de la estrategia de regulación más adecuada en estaciones de bombeo. *Jornadas de Ingeniería del Agua, octubre 21-22, Córdoba, España, 1191-1202.*
- Giner, C., Gómez, P., Sanz, F., García-Serra, J., Soriano, J. 2015. Auditoría Energética de estaciones de bombeo. Caso de Estudio. *Jornadas de Ingeniería del Agua, octubre 21-22, Córdoba, España, 641-654.*

Caracterización de flujos emulsionados en estructuras hidráulicas mediante tecnología fotónica

Roberto Llorente^a, Francisco J. Vallés-Morán^b, María Morant^a, Arnau Bayón^b, P. Amparo López-Jiménez^b, Sergio L. Carrasco-Ortiz^a, Eduardo Valero^a, Santiago López^c y Ana Belén Martín^c

^aCentro de Tecnología Nanofotónica, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, Ed. 8F, 46022 Valencia {rllorent, mmorant, sercaror, edvahu}@ntc.upv.es, ^bInstituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, Ed. 8G, 46022 Valencia {fvalmo, arbabar}@iama.upv.es y ^cIberdrola Generación Hidráulica, Explotación de Presas-Gestión y Desarrollo C/Tomás Redondo 1 E, 20833 Madrid {slopezro, abmartin}@iberdrola.es

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Introducción

La presente comunicación describe una nueva tecnología de monitorización de flujos multifase en estructuras hidráulicas y la estrategia de gestión de asociada, desarrollada en el marco del proyecto HIDRASENSE. Esta tecnología está siendo desarrollada por el consorcio formado por Iberdrola Generación S.A. y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), a través de sus institutos universitarios de investigación I.U.I. Centro de Tecnología Nanofotónica (UPV-NTC) y el I.U.I. de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (UPV-IIAMA).

Estrategia de gestión de flujos multifase en HIDRASENSE

La detección y monitorización de burbujas en elementos críticos de la generación hidroeléctrica es importante por razones de eficiencia y seguridad. La cavitación es un ejemplo que es crucial en muchos ámbitos: En el ámbito hidráulico, la cavitación causa erosión en la superficie y una eventual destrucción de aliviaderos de presas, reduciendo sensiblemente su vida útil así como en otros elementos mecánicos y estructurales. En relación a flujos supercríticos en canales como las rápidas de aliviaderos, es frecuente la aparición del fenómeno conocido como autoaireación; fenómeno ya estudiado por la transferencia aire-agua de gases atmosféricos y por la reducción de los daños asociados a la cavitación (Chanson, 1995). En dispositivos tales como bombas y turbinas hidráulicas y hélices en el ámbito naval (barcos o submarinos), la cavitación causa mucho ruido, daño a los componentes, vibraciones, y una pérdida de eficiencia (Buckland et al., 2013). La estrategia de monitorización propuesta se realiza mediante sensado óptico, lo cual permite la detección aire, vapor de agua y partículas en suspensión en flujos multifásicos cuya fase principal es el agua. Esta monitorización puede realizarse en aliviaderos de presas –como se muestra en la Figura 1(a)– turbinas y tuberías a presión –como se muestra en la Figura 1(b)– y, en general, cualquier estructura hidráulica.

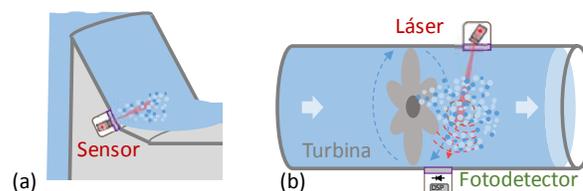


Figura 1 | Estrategia de gestión de flujos multifase en HIDRASENSE para (a) rápidas de aliviaderos de presas y (b) conducciones.

La monitorización de variables como la detección de burbujas, su concentración, su velocidad y sus parámetros morfológicos (área, diámetro, semiejes, solidez y perímetro) se realiza a partir de la dispersión de la luz láser junto con procesamiento digital. De esta manera, con un coste contenido, puede monitorizarse un aliviadero. Esto supone un salto tecnológico en la gestión y operación de estructuras hidráulicas.

Desarrollo del sensor y principios de detección fotónica

El sensor HIDRASENSE está formado por una combinación de iluminación láser y un sensor de píxeles activos basado en tecnología CMOS (del inglés, *complementary metal-oxide-semiconductor*). Los componentes básicos del sensor fotónico desarrollado en HIDRASENSE se describen en la Figura 2(a). El láser es de tipo diodo regulable (hasta 80 mW) de forma remota según las condiciones de sensado y nivel de turbidez. El láser trabaja a una longitud de onda de 532 nm (región del espectro visible en color verde) para la optimización de la eficiencia cuántica del sensor CMOS. El sensor incluye una lente negativa para la apertura del haz láser. Además, la luz láser se combina con un apoyo de luz LED para aumentar la zona de contraste del sensor. El sensor CMOS incluye una óptica de 25 mm con control remoto del área de enfoque. Todos estos elementos están colocados sobre una guía móvil que también se controla de forma remota según el nivel del calado a sensar. Los sensores están conectados a un ordenador de control donde se procesan los datos con algoritmos diseñados específicamente para la detección y caracterización de burbujas. Para ajustar el intervalo de caudales de validación del sensor y la cota máxima de instalación en el desarrollo del sensor, se ha realizado un análisis de la serie de vertidos de los 10 últimos años. El estudio muestra que incluso en el año más desfavorable (2016 con picos de más de 1200 m³/s), el 92% de los días con vertidos tuvieron una cota por debajo de la correspondiente a 600 m³/s. La Figura 2(b) muestra un ejemplo de instalación de dos sensores móviles, uno en el paramento inclinado hasta la cota de 600 m³/s, y otro en la zona vertical del aliviadero para el análisis de los vertidos ecológicos.

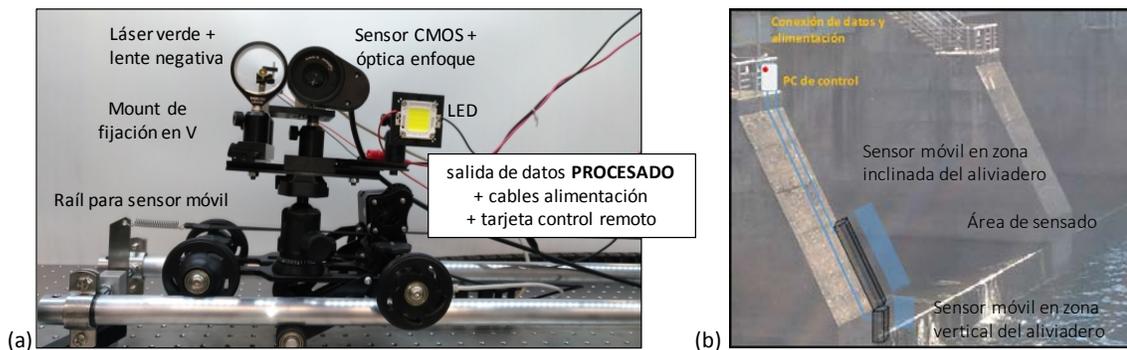


Figura 2 | (a) Descripción de los componentes del sensor fotónico desarrollado en HIDRASENSE. (b) Ejemplo de instalación de sensores móviles en el aliviadero de una presa.

Conclusiones

La metodología propuesta contempla un sensor basado en tecnología fotónica de caracterización de flujos multifase destinado a ser instalado en estructuras hidráulicas y sistemas de generación hidroeléctrica con el objetivo de monitorizar su funcionamiento. Dicho control puede contribuir a encontrar el punto de funcionamiento óptimo en términos de rendimiento hidroeléctrico y prevención de la aparición de cavitación, cuyas consecuencias pueden devenir catastróficas. El sensor fotónico propuesto está formado por una combinación de iluminación láser, sensor CMOS y algoritmos de procesado digital para la identificación y caracterización de burbujas. La estrategia de monitorización propuesta permite proteger las estructuras hidráulicas y de disipación de energía, así como mejorar su rendimiento, y los elementos del sistema de generación eléctrico, evitando paradas debido a tareas de reparación y aumentando considerablemente la vida útil de las turbinas.

AGRADECIMIENTOS: Investigación financiada por los proyectos Retos-Colaboración RTC-2014-2232-3 HIDRASENSE y TEC2015-70858-C2-1-R XCORE.

REFERENCIAS

- Buckland, H. C., Masters, I., Orme, J. A. C., Baker, T. 2013. Cavitation inception and simulation in blade element momentum theory for modelling tidal stream turbines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 227 (4), 479-485.
- Chanson, H. 1995. Air bubble diffusion in supercritical open channels flows. *Twelfth Australasian Fluid Mechanics Conference*, 707-710.

Caracterización experimental de resaltos hidráulicos estacionarios con alto número de Reynolds

Juan Francisco Macián-Pérez^a, Arnau Bayón^a, Francisco J. Vallés-Morán^a, Rafael García-Bartual^a, P. Amparo López-Jiménez^b

^aInstituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente - Universitat Politècnica de València. Email: juamapre@cam.upv.es

^bDepartamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente – Universitat Politècnica de València.

Línea temática | D: Estructuras Hidráulicas

RESUMEN

El resalto hidráulico constituye un fenómeno de elevada complejidad y con una extensa aplicación en ingeniería hidráulica en general y en disipación de energía en grandes presas en particular. La complejidad del resalto hidráulico viene dada por las grandes fluctuaciones turbulentas, la intensa entrada de aire y la significativa disipación de energía que tienen lugar en el mismo.

La impredecible naturaleza del resalto hidráulico hace que, a pesar de que los avances en modelación numérica han paliado parte de las limitaciones de los modelos matemáticos de resalto hidráulico, la modelación física de este fenómeno constituya una parte imprescindible de su estudio. En este sentido se propone la caracterización experimental de un resalto hidráulico a fin de estudiar su estructura y características, así como la interacción entre todos los procesos que tienen lugar en el desarrollo del mismo. El objetivo final del trabajo es contribuir al estudio de un fenómeno tan importante en ingeniería de presas como lo es el resalto hidráulico y del que todavía nos encontramos lejos de su total comprensión.

El primer paso consiste en seleccionar el resalto hidráulico a caracterizar y que por tanto es objeto del presente estudio. Para ello, cabe destacar que los resaltos hidráulicos se clasifican en general haciendo uso del número de Froude de aproximación (Fr_1). De acuerdo con este número adimensional que relaciona fuerzas inerciales y gravitatorias en el flujo, los resaltos hidráulicos pueden ser ondulares, débiles, oscilantes, estacionarios o fuertes. De acuerdo con el USBR (Peterka, 1978), los resaltos hidráulicos que ofrecen un mejor comportamiento para la disipación de energía en cuencos amortiguadores de presas son los estacionarios ($4,5 < Fr_1 < 9$) por lo que se ha estudiado un resalto hidráulico con $Fr_1 \sim 6$. Otro número adimensional que juega un papel crucial en la modelación de flujos a escala laboratorio es el número de Reynolds, que establece una relación entre fuerzas inerciales y viscosas. La importancia de este número radica en que se necesita Reynolds de aproximación altos ($Re_1 > 100000$) para mitigar la aparición de efectos de escala en el modelo físico (Heller, 2011) y por tanto, poder extrapolar los resultados obtenidos en laboratorio a escala prototipo. Así pues, el resalto hidráulico objeto de este estudio presenta un $Re_1 \sim 210000$.

Una vez definido el resalto hidráulico, éste se materializa en el canal de ensayos disponible en el Laboratorio de Hidráulica y Obras Hidráulicas de la Universitat Politècnica de València. El canal puede observarse en la Figura 1. Se trata de un canal de 10 m de longitud y sección rectangular 0,3x1m con solera de PVC y cajeros de vidrio. La alimentación al canal se realiza en presión de manera que a la entrada del mismo hay una boquilla donde se efectúa la transición de flujo en presión a flujo en lámina libre. El canal está preparado para alcanzar los números de Froude y Reynolds referidos previamente y además consta con sendas compuertas aguas arriba y aguas abajo que pueden ser maniobradas para controlar los calados supercrítico y subcrítico en la simulación del resalto.



Figura 1 | Canal de ensayos del Laboratorio de Hidráulica y Obras Hidráulicas de la Universitat Politècnica de València

La campaña de ensayos diseñada para la caracterización del resalto hidráulico busca ser lo más completa posible, extendiéndose tanto al flujo supercrítico y subcrítico, como al propio cuerpo del resalto. Así pues, tal y como se muestra en la Figura 2 adaptada de Bayón *et al.* (2016), se estudia, mediante el uso de limnímetros, el perfil de la lámina libre aguas arriba y aguas abajo del cuerpo del resalto (secciones 1 y 2) así como el perfil de velocidades con tubos de Pitot (sección 1) y con velocímetro acústico Doppler (Vectrino) (sección 2). Además, se estudian las fluctuaciones de velocidad mediante correlación y tratamiento estadístico de las mediciones tomadas en varios puntos representativos del cuerpo del resalto y se determina la longitud del remolino principal, también haciendo uso del Vectrino para obtener la velocidad en distintos puntos del cuerpo del resalto y ajustar una función que permita establecer el punto donde finaliza el mencionado remolino. Por último, a lo largo de todo el eje longitudinal del resalto se miden por un lado las presiones dinámicas en la solera, haciendo uso de transmisores digitales de presión dispuestos a lo largo de todo el canal de ensayo; y por otro, se determina el perfil de la lámina libre y sus frecuencias características mediante técnicas de tratamiento digital de la imagen.

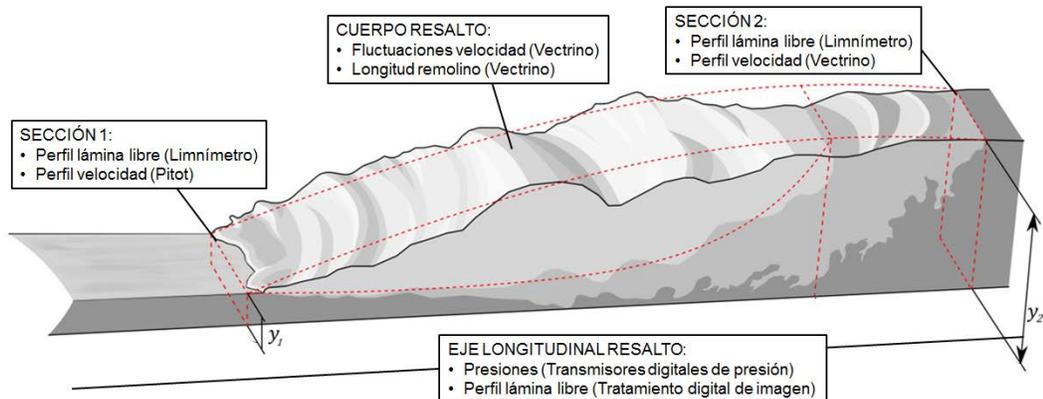


Figura 2 | Caracterización experimental del resalto hidráulico

Así pues, los resultados obtenidos permiten la caracterización detallada de un resalto hidráulico de alto número de Reynolds y número de Froude similar al de los resaltos que se emplean en los cuencos amortiguadores para la disipación de energía en presas. Los resultados también pretenden servir como base para su comparación con resultados experimentales obtenidos por otros autores y con modelos numéricos de resalto hidráulico, cuya utilización está creciendo como complemento para el estudio de este fenómeno tan importante en el campo de la ingeniería hidráulica y del que aún queda tanto por conocer.

REFERENCIAS

- Bayón, A., Valero, D., García-Bartual, R., Vallés-Morán, F.J. y López-Jiménez, P.A. 2016. Performance assessment of OpenFOAM and FLOW-3D in the numerical modeling of a low Reynolds number hydraulic jump. *Environmental Modelling & Software*, 80, 322-335.
- Heller, V. 2011. Scale effects in physical hydraulic engineering models. *Journal of Hydraulic Research*, 49(3), 293-306.
- Peterka, A. J. *Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators*. No. 25. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1978.

Diseño de diques en la cuenca inferior del río Luna.

Martínez-Cantó, R.^{a1} e Hidalgo, A.^{a2}

^{a1}Dpto. Ingeniería Geológica y Minera, ETSI Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid. C/ Ríos Rosas, 21.28003 Madrid. ^{a1}raquel.martinez.canto@alumnos.upm.es y ^{a2}arturo.hidalgo@upm.es.

Línea temática | D. Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

La modelización matemática y la simulación numérica de dichos modelos son herramientas que permiten representar de manera adecuada la dinámica y el comportamiento de sistemas físicos, así como predecir lo que sucederá en diversas situaciones que se pueden presentar. En este trabajo se estudia el comportamiento de la dinámica fluvial, empleando para ello modelos matemáticos de tipo aguas someras (*shallow waters*) y ecuaciones de St Venant, con el fin de poder predecir situaciones de inundación y con ello ser capaces de planificar e implementar acciones correctoras para recuperar los terrenos afectados. Los modelos antes mencionados vienen representados por leyes de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía.

El objetivo principal del estudio es simular el efecto de diques de contención para reducir el alcance de los episodios de tormenta y apertura extraordinaria de las compuertas del embalse que regula el río Luna, de forma que se eviten los daños en las poblaciones adyacentes. Este estudio se ha hecho en la zona concreta de Santiago del Molinillo, al norte de la provincia de León, en cuyas cercanías se unen el río Luna y el río Omaña para formar el río Órbigo. Es una zona que sufre inundaciones periódicas y es necesaria una actuación para evitar esos daños.

El modelo matemático empleado se basa en el sistema de ecuaciones de Saint Venant en 2 dimensiones, que se resuelve numéricamente mediante el método de volúmenes finitos empleando el programa Iber (Bladé *et al.*, 2014), para lo cual se requieren ciertos datos hidrológicos y geológicos. Previamente se han recogido los aforos de los últimos 30 años (periodo 1985-2015) de las estaciones de aforo cercanas al área de estudio (Las Omañas, río Omaña; La Magdalena, río Luna; y Santa Marina del Rey, río Órbigo). Estos datos se han analizado antes de aplicarlos al cálculo matemático. También se ha hecho una lectura en profundidad del Plan Hidrológico de Cuenca de la Confederación Hidrográfica del Duero, al mismo tiempo se ha estudiado la situación del embalse de Barrios de Luna y los mapas de riesgos de inundaciones implementados por la Confederación (Martínez-Cantó e Hidalgo, 2016). Posteriormente, se han aplicado los datos al programa, habiendo hecho un análisis del terreno que se estudiará, para hacer los cálculos y así se han obtenido modelos que expresan las inundaciones ocurridas en años anteriores.

Gracias a estos modelos se han comprobado los daños que se ocasionan en las poblaciones cercanas y se han diseñado unos diques para evitarlos en gran medida, es decir, se han propuesto unas medidas correctoras estructurales. Así, y tras hacer varias pruebas en simulaciones, se ha obtenido la ubicación y medidas del dique que frena la acción del agua (González Ortega, 2004). Estas pruebas se han hecho en pro de tener una protección suficiente con la menor longitud de dique, lo que abarata los costes de construcción y hace la obra más factible.

A la vista de los resultados obtenidos con el programa y el análisis de los datos, es necesario hacer una actuación en este sentido por parte de las autoridades competentes, de forma que se construyan estos diques para evitar que las poblaciones de Santiago del Molinillo, Mataluenga, Villarroquel y Secarejo vean su actividad diaria afectada por las inundaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo agradecen a AEMET, MAGRAMA y CHD el haber facilitado los datos con los que se ha podido llevar a cabo este estudio.

REFERENCIAS

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J. y Coll, A. (2014). Iber – herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos*, 30, pp. 1-10.

Martínez-Cantó, R. e Hidalgo, A. (2016). Inundaciones fluviales en Santiago del Molinillo y alrededores (León). *Geotemas*, 16, pp.87.

González Ortega, J.M. 2004. *Análisis de procesos de erosión local en márgenes de cauces fluviales con curvatura en planta*. Tesis doctoral, España.

Selección de perfil hidrodinámico para la construcción de un modelo a escala de una microturbina hidrocínética

Meana-Fernández, A.^{a1}; Fernández Oro, J.M.^{a2}; Argüelles Díaz, K.M.^{a3}; Galdo-Vega, M.^{a4}; García, L.^{b1}; Fernández, A.^{b2}; Rodríguez N.^{b3} y Álvarez, E.^{b4}

^aÁrea de Mecánica de Fluidos, Departamento de Energía, Universidad de Oviedo. C/Wifredo Ricart s/n Gijón Asturias 33203.

E-mail: ^{a1}meanaandres@uniovi.es, ^{a2}jesusfo@uniovi.es, ^{a3}arguellesdiaz@uniovi.es, ^{a4}galdomonica@uniovi.es

^bÁrea de Ingeniería Hidráulica, Departamento de Energía. Escuela Politécnica de Mieres-C/Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n, Mieres. E-mail:

^{b1}garciaexpositolaura@gmail.com, ^{b2}fejima5@gmail.com, ^{b3}noelrodriguez5@gmail.com, ^{b4}edualvarez@uniovi.es.

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Introducción

El aprovechamiento de fuentes de energía renovables es de vital importancia en muchos países, así como la descentralización de los lugares de producción de energía. En este contexto, las turbinas hidrocínéticas de eje vertical representan una solución factible para la producción de energía limpia en lugares con bajas velocidades de agua cercanos a la costa (Álvarez et al., 2013). Estas turbinas son omnidireccionales y necesitan menores velocidades del fluido para funcionar en relación a otros tipos de sistemas (Meana-Fernández et al., 2015). Por otra parte, su principal desventaja es su dificultad para conseguir autoarrancar a bajas velocidades del agua, debido al continuo cambio en la hidrodinámica de sus perfiles durante el funcionamiento. Una opción interesante para predecir las prestaciones y la capacidad de autoarranque de este tipo de turbinas son los denominados modelos analíticos, como los presentados por Paraschivoiu (2002). Al contrario que los modelos CFD (Computer Fluid Dynamics), son capaces de obtener resultados en cuestión de minutos. Esto los ha convertido en una herramienta extremadamente útil a la hora de diseñar prototipos de turbinas durante las etapas de diseño.

Metodología

En este trabajo se han aplicado varios modelos analíticos basados en la teoría del elemento de pala y ecuaciones de tubo de corriente para predecir las prestaciones de turbinas de eje vertical, contrastando los resultados con medidas experimentales. Los modelos se han implementado en MATLAB[®], con el objetivo de conseguir una herramienta que permita la rápida comparación de diseños de este tipo de turbinas. De esta manera se evita el gran lapso de tiempo requerido por las técnicas CFD, como ya fue apuntado por Meana-Fernández et al. (2015). El primer paso realizado fue la validación de los modelos analíticos para el cálculo de las prestaciones de la turbina utilizando un perfil simétrico NACA-0021. Los datos experimentales necesarios para esta etapa se extrajeron de los resultados presentados por Castelli et al. (2011). Tras la validación de los modelos se procedió a comparar varios perfiles con el fin de encontrar el óptimo para el diseño de un modelo a escala reducida de una turbina hidrocínética para su ensayo en un canal hidráulico.

Resultados

Los resultados obtenidos utilizando un perfil NACA-0021 muestran una gran correspondencia con los datos experimentales de Castelli et al. (2011). Tras la comparación de varios perfiles, el perfil óptimo para el diseño del modelo a escala reducida resultó ser el DU-06-W-200. Este perfil, cuya geometría se muestra en la Figura 1, fue desarrollado por Claessens (2006) y se presupone con capacidad de autoarranque. Las curvas teóricas obtenidas para el rendimiento de este

prototipo se verificarán experimentalmente mediante medidas en el canal hidráulico de la Escuela Politécnica de Mieres, así como la capacidad de autoarranque del modelo. Los datos geométricos del modelo a escala propuesto se recogen en la Tabla 1.



Figura 1 | Geometría del perfil hidrodinámico propuesto.

Tabla 1 | Características geométricas de la microturbina hidráulica.

Perfil	Radio (mm)	Altura (mm)	Nº Palas	Cuerda (mm)	Solidez
DU-06-W-200	100	200	3	11,111	1/3

Conclusiones

Se ha comprobado que los modelos analíticos desarrollados suponen un considerable ahorro de tiempo en comparación con los métodos CFD. Estos modelos analíticos son capaces de predecir con una precisión razonable el máximo valor del coeficiente de potencia, así como el coeficiente de velocidad específica al cual se alcanza este máximo valor. Se puede concluir que se ha desarrollado una herramienta de cálculo eficiente para el prediseño de prototipos de turbinas hidrocineéticas de eje vertical capaz de obtener resultados en un tiempo del orden de minutos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo cuenta con el apoyo de la beca predoctoral “FPU” otorgada por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España y del proyecto Hidrocimar, con financiación del Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias (IDEPA) y la Unión Europea.

REFERENCIAS

- Álvarez, E., Manso, A., Gutiérrez, A., Fernández, J., Secades, M. 2013. Obtaining renewable energy from tidal currents in the Avilés Port: New services for citizens. *IEEE International Conference of New Concepts Smart Cities Foster Public-Private Alliances*.
- Castelli, M.R., Englaro, A., Benini, E. 2011. The Darrieus wind turbine: Proposal for a few performance prediction model based on CFD. *Energy*, 36: 4919-4934.
- Claessens, M.C. 2006. *The Design and Testing of Airfoils for Application in Small Vertical Axis Wind Turbines*. Master Thesis, TU Delft.
- Meana-Fernández, A., Solís-Gallego, I., Fernández Oro, J.M., Argüelles Díaz, K.M., Velarde-Suárez, S. 2015. Modelos analíticos para la predicción de las prestaciones de turbinas eólicas de eje vertical y palas rectas. *En: Current Trends in Energy and Sustainability 2015 Edition* (R. Gómez-Calvet, J.M. Martínez-Duart, ed.) Real Sociedad Española de Física, Gijón, Spain, 285-295.
- Paraschivoiu, I. 2002. *Wind Turbine Design: with Emphasis on Darrieus Concept*. Presses internationales Polytechnique.

Hidrodinámica de turbinas de corriente de eje vertical

Pablo Ouro^a, Thorsten Stoesser^a y Luis Cea^b

^aHydro-environmental Research Centre, School of Engineering, Cardiff University. CF24 3AA Cardiff, Reino Unido, ^b Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA), Departamento de Métodos Matemáticos y de Representación, Universidade da Coruña, España.

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

El uso de turbinas de eje vertical para la extracción de energía proveniente de las corrientes de agua ha sido, hasta la fecha, bastante limitado comparado con la desarrollada energía del viento. Mientras que las turbinas de eje horizontal ya han llegado a una fase de comercialización para aplicaciones de corrientes marinas, las turbinas de eje vertical están en una fase más prematura. Sin embargo, el interés en las turbinas de eje vertical está creciendo con un enfoque utilizarlas para extraer energía de las corrientes de los ríos o estuarios debido a tienen una serie de ventajas respecto a las turbinas de eje horizontal: (i) necesitan una menor velocidad de corriente para empezar a extraer energía, (ii) tienen un diseño estructural más simple que se adecua tanto a diseños flotantes como sumergidos, (iii) hacen un mayor aprovechamiento de la sección disponible en aguas someras debido a su área de proyección cuadrada (circular para el caso de las turbinas de eje horizontal), y (iv) operan en velocidades de rotación menores que las turbinas de eje horizontal lo cual disminuye la mortalidad en peces y la generación de ruido, lo cual es especialmente importante si estas turbinas se van a disponer en zonas de marisqueo o pesca.

La potencia de las turbinas de eje vertical es menor que las de eje horizontal provocando que la inversión en su investigación haya sido bastante menor. El hecho que las turbinas de eje vertical rotan en un eje perpendicular al flujo genera una compleja interacción fluido-palas que dificulta el entendimiento de porqué ciertos diseños del rotor ofrecen un mejor rendimiento que otros (Brochier et al., 1986). El estudio experimental de dicha interacción fluido-estructura es compleja y obtener mediciones del campo de flujo son costosas y tediosas. Por ello, usando modelos numéricos basados en Computacional Fluid Dynamics (CFD) son una alternativa que pueden proveer de la información necesaria para determinar los mecanismos de flujo envueltos en la hidrodinámica de las turbinas de corriente de eje vertical. Ouro et al. (2017) desarrollaron un modelo basado en la combinación de los métodos Large-Eddy Simulation (LES) e Immersed Boundary (IB), denominado LES-IB, que permite un cálculo preciso tanto del rendimiento de una turbina como del campo de flujo generado. Usando este mismo modelo, Ouro y Stoesser (2017) resaltaron los diferentes mecanismos de interacción fluido-palas en una turbina de eje vertical, como muestra la Figura 1. Sus resultados muestran que las estructuras turbulentas generadas a diferentes velocidades de rotación varían, y que la entrada en pérdida de las palas es el factor determinante.

Este trabajo se enfoca en mejorar la hidrodinámica de una turbina de corriente de eje vertical para su potencial uso en aguas someras. El principal enfoque será la mejora del rendimiento de la turbina usando diferentes parámetros como el ángulo de ataque fijo de las palas o el perfil hidrodinámicos de las últimas. Estos resultados ayudaran a aumentar la confianza del uso de turbinas de corriente de eje vertical en aquellas áreas donde las velocidades de flujo son moderadas, como pueden ser ríos o estuarios, o en zonas de especial sensibilidad a la pesca o marisqueo.

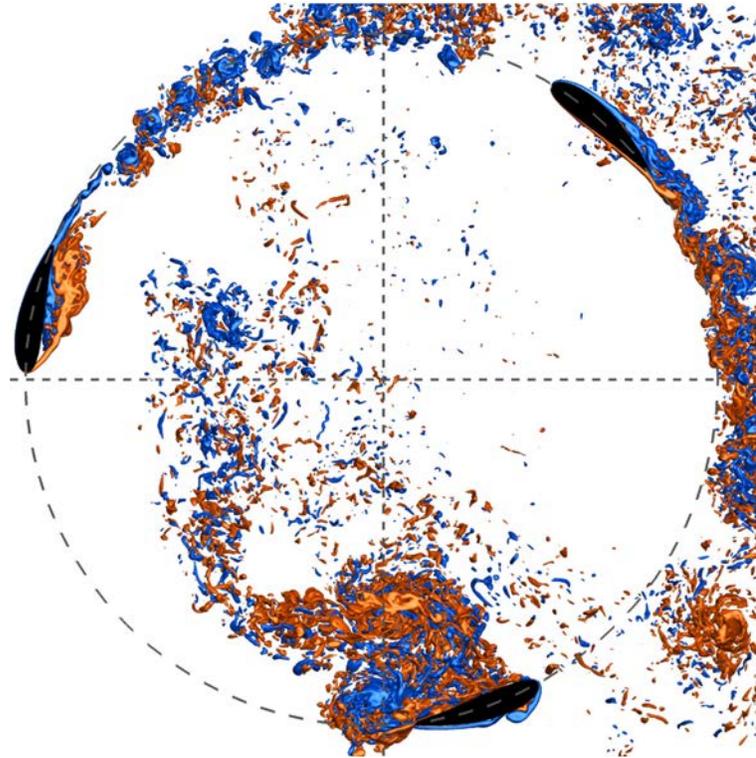


Figura 1 | Estructuras turbulentas desarrolladas durante la rotación de una turbina de corriente de eje vertical en condiciones de máximo rendimiento. Flujo es de izquierda a derecha con la turbina rotando en sentido anti-horario.

REFERENCIAS

- Brochier, G., Fraunie, P., Beguier, C., Paraschivoiu, I. 1986 Water Channel Experiments of Dynamic Stall on Darrieus Wind Turbine Blades. *Journal of Propulsion and Power* 2(5), 445-449, doi:10.2514/3.22927
- Ouro, P., Harrold, M., Stoesser, T., Bromley, P. 2017. Hydrodynamic loadings on a horizontal axis tidal turbine prototype. *Journal of Fluids and Structures*, 71C-78-95 doi:10.1016/j.jfluidstructs.2017.03.009
- Ouro, P., Stoesser, T. 2017. An immersed boundary-based large-eddy simulation approach to predict the performance of vertical axis tidal turbines. *Aceptado en Computers & Fluids*, doi:10.1016/j.compfluid.2017.04.003

Comportamiento de los factores de fricción de Manning y Darcy-Weisbach en diferentes condiciones de flujo e implicaciones en el diseño de canales de riego

Jorge Víctor Prado Hernández^{a,d}, Benjamín de León Mojarro^b, Mauricio Carrillo García^{c,d} y Óscar Gerardo Valentín Paz^{c,d}

^aProfesor-Investigador, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo (vpradohdez@gmail.com, ac12493@chapingo.mx)

^bCONAGUA. Estado de Zacatecas, Zacatecas, México. (felipe.deleon@conagua.gob.mx)

^cProfesor-Investigador, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo (mauricio@correo.chapingo.mx)

^dCarretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230, México.

Línea temática | Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

Un problema frecuente en la operación de canales de riego, en las zonas de riego de México, se relaciona con su capacidad de conducción, la cual siempre resulta considerablemente inferior a la de diseño. Un argumento igualmente frecuente, para explicar este hecho, es que se debe a la falta de mantenimiento y deterioro de la calidad de los materiales de revestimiento y a las políticas de operación de los canales, y consecuentemente no se relaciona con un problema en el diseño de la capacidad de los mismos. Con el propósito de analizar esta situación, se presenta un análisis teórico-experimental de la resistencia al flujo en canales de riego sujetos a distintas condiciones de flujo en régimen permanente gradualmente variado. Se planteó una relación funcional para representar el factor de fricción de la ecuación de Darcy-Weisbach para canales de sección trapecial, a partir de la teoría de la capa límite de Prandtl y Von Kármán para flujo turbulento hidráulicamente rugoso y se analizó el comportamiento del factor de fricción de la ecuación de Manning puesto que es la expresión empleada en el diseño de canales en México y varias partes del mundo. Para tal efecto, se realizaron pruebas en tres canales de riego con revestimiento de concreto y cada uno se sometió a distintas condiciones de funcionamiento hidráulico: uno se estudió bajo condiciones de laboratorio cuyo estado físico representó las condiciones de los canales revestidos de concreto recién construidos y los dos restantes correspondieron a canales principales de dos distritos importantes de México con condiciones físicas y de operación representativas de los canales en los distritos de riego de ese país. Se encontró que el perfil de velocidades logarítmico asocia bien el factor de fricción de la ecuación de Darcy-Weisbach sin importar el tipo de sección geométrica del canal, siempre que los canales rectangulares sean lo suficientemente anchos; en particular para los canales trapeciales experimentales estudiados se tuvo una diferencia máxima de 8%, respecto al de diseño, que tomada como una sobre estimación representaría una disminución de la capacidad de conducción de 3.8%, mientras que una subestimación representaría un incremento de 4.3% del caudal de diseño. Los factores de fricción de Manning no mostraron una tendencia definida, pero si alta sensibilidad a las condiciones de flujo. El promedio del factor de fricción de Manning en el canal de laboratorio resultó de 0.014, valor muy próximo al valor de diseño (0.015) sugerido para canales revestidos de concreto por el órgano mexicano encargado de normar el diseño, mientras que en los canales restantes resultaron superiores a ese valor de referencia, debido principalmente a las condiciones hidráulicas imperantes que son totalmente distintas a las concebidas en el diseño; en el canal del distrito de riego La Begoña resultó de 0.018 y en el del Carrizo de 0.038. Una sobre estimación del valor promedio del coeficiente de fricción de Manning en el canal del laboratorio, en un valor igual a la desviación estándar encontrada (0.0045), causaría una disminución del caudal en un 24%. Las condiciones de flujo generadas por las condiciones de operación de los canales generaron valores del coeficiente de fricción de Manning distintos a los de diseño. Por tanto, el diseño de canales debe considerar las condiciones hidráulicas a las que estará sujeto y una ecuación tipo Darcy-Weisbach.

REFERENCIAS

- Aldama-Rodríguez, A. A., Ocón, A. R. 2002. Resistencia al flujo en canales y límites de aplicabilidad de la fórmula de Manning. *Ingeniería Hidráulica en México* 17(1), 107-115.
- ASCE (ASCE Task Force on Friction Factors in Open Channels). 1963. Friction factors in open channels, *Journal Hydraulics Division, ASCE* 89, 97-143.
- Burhan M. W., Davis, D. W. 1990. Effects of data errors on computed steady flow profiles. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 116(7), 914-929. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1990\)116:7\(914\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1990)116:7(914))
- Chow, V.T. 1959. *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York, USA.
- De Doncker L., Troch, P., Verhoeven, R., Bal, K., Meire, P., Quintelier, J. 2009. Determination of the Manning roughness coefficient influenced by vegetation in the river Aa and Biebrza river. *Environmental Fluid Mechanics* 9, 549-567. doi:10.1007/s10652-009-9149-0
- French, R. H. 1988. *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill. México. 723 p.
- Henderson, F. M. 1966. *Open Chanel Flow*. Macmillan. Nueva York, USA.
- Keulegan, G. H. 1938. Laws of turbulent flow in open channels. *Journal National Bureau of Standards* 21, 707-741.
- Lashkar A. B., Fathi, M. M. 2010. Wall and bed shear forces in open channels. *Research Journal of physics* 4(1), 1-10. doi:10.3923/rjp.2010.1.10
- Limerinos J. T. 1970. *Determination of the Manning Coefficient From Measured Bed Roughness in Natural Channels*. Geological Survey Water-Supply paper 1898-B. U. S. Department of the interior. Washington, USA. Obtenido de <https://pubs.er.usgs.gov/publication/wsp1898B>
- Marengo-Mogollón, Cortés-Cortés, C., Arreguín-Cortés, F. I. 2008. Análisis hidráulico experimental en túneles de conducción en sección baúl trabajando como canal considerando rugosidades compuestas. *Ingeniería Hidráulica en México* 23(1), 21-44.
- Martínez-González, Y., Cabrera-Estupiñán, E. 2006. Consideraciones sobre la resistencia al flujo en canales. Estudio de caso: canal experimental del CIH. *Ingeniería Hidráulica en México* 21(4), 87-101.
- Moody, L. F. 1944. Friction factors for pipe flow. *Transactions of American Society of Mechanical Engineers (A.S.M.E)*, June 19-22, Pittsburgh, Pa, USA, 671-684.
- Oertel, H. 2004. *Prandtl's Essentials of Fluid Mechanics*. Applied mathematical sciences, vol. 158. 2ª ed. Antman, S. S., Marsden, J. E., Sirovich, L. (Eds). Springer-Verlag New York, Inc. New York, USA. 723 p.
- Saldarriaga-V, J. G. 2007. *Hidráulica de tuberías*. Alfaomega. Colombia. 690 p.
- Schlichting, H. 1979. *Boundary layer theory*. McGraw-Hill. Nueva York, USA. 817 p.
- Soong, D. T., Prater, C. D., Halfar, T. M., Wobig, L. A. 2012. *Manning's roughness coefficient for Illinois streams*. U.S. Geological Survey Data Series 668, 14 p. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/ds/668/>
- Sotelo-Ávila, G. 2009. *Hidráulica de canales*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. D. F. México. 836 p.
- S. R. H. (Secretaría de Recursos Hidráulicos). 1971a. *Proyecto de Zonas de Riego*. Dirección de Proyectos de Grande Irrigación, Departamento de Canales. D.F., México.
- S. R. H. (Secretaría de Recursos Hidráulicos). 1971b. *Anexo de Planos del proyecto Río Sinaloa-Costa de Hermosillo*. Programa de acción inmediata – estudio de factibilidad. Archivo Histórico del Agua, D. F., México.
- S. R. H. (Secretaría de Recursos Hidráulicos). 1972. *Memoria segunda parte del Plan Hidráulico del Noroeste*. Programa de acción inmediata – estudio de factibilidad. Archivo Histórico del Agua, D. F., México.
- Venutelli, M. 2005. A Constitutive Explanation of Manning's Formula. *Mecanica* 40, 281-289. doi:10.1007/s11012-005-6529-5

Mejora en la eficiencia del flujo en piscinas destinadas a la cría de peces mediante simulación numérica bidimensional

Manuel Quintana López^a, Ignacio Fraga Cadórniga^b

^aEPTISA Servicios de Ingeniería. Ronda Xosé Castiñeira 17 Entreplanta B, 27002 Lugo. mquintana@eptisa.com

^bEPTISA Servicios de Ingeniería. Ronda Xosé Castiñeira 17 Entreplanta B, 27002 Lugo. ifraga@eptisa.com

Línea temática | Estructuras hidráulicas

RESUMEN

Introducción

La industria de la piscicultura ha experimentado en las últimas décadas un notable impulso, incrementando tanto los volúmenes de producción como el tipo de especies criadas. Estos aumentos demandan unas infraestructuras cada vez más eficientes y mejor adaptadas a las exigencias de cada especie. Con esta premisa se ha realizado un análisis de la hidrodinámica en balsas de cría de peces para diferentes configuraciones de las tomas de entrada de agua, apoyándose para ello en simulación numérica bidimensional.

Descripción del modelo numérico empleado

El modelo hidrodinámico empleado en este estudio es el software Iber (Bladé et al.2014). Iber resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad (también conocidas como ecuaciones de St.Venant bidimensionales) en una malla bidimensional no estructurada de volúmenes finitos. El modelo Iber es un modelo ampliamente validado y contrastado en numerosos estudios. En las simulaciones presentadas se han empleado los módulos hidrodinámico y de turbulencia para determinar la hidrodinámica en las piscinas, modelizando la turbulencia con el modelo k- ϵ . La inclusión de la turbulencia resulta especialmente interesante en estudios como el realizado, donde dado el rango de velocidades esperado el efecto de las tensiones turbulentas horizontales sobre el flujo medio es especialmente importante (Cea et al. 2007).

Descripción de las piscinas analizadas

Las piscinas analizadas son de forma octogonal, con una superficie total cercana los 100 m². Disponen de una única toma en la parte central para la salida del agua y se consideraron dos posibles configuraciones de las tomas de entrada: una única toma o bien dos tomas de entrada. De esta forma se busca analizar la influencia de la disposición de las entradas en los patrones de flujo dentro de la piscina (extensión de zonas de recirculación, gradientes de velocidad, etc.). Dentro de cada configuración se ha analizado el efecto de la velocidad de entrada del agua en la piscina, regulado por la sección del conducto de salida. Las piscinas se discretizaron en una malla estructurada de volúmenes finitos empleando elementos de 20 cm de lado (Figura 1). Como condición inicial se impuso una cota de lámina constante en todo el dominio e igual a 0.5 m y una condición hidrostática. Como condición inicial de turbulencia se ha impuesto una energía cinética turbulenta k y una tasa de disipación de energía turbulenta ϵ nulas. Para evaluar la fricción con el fondo y con las paredes de la piscina se ha impuesto un coeficiente de Manning de 0.01 s.m-1/3 en todo el dominio. Para resolver las ecuaciones hidrodinámicas se ha empleado un esquema numérico de orden 2.

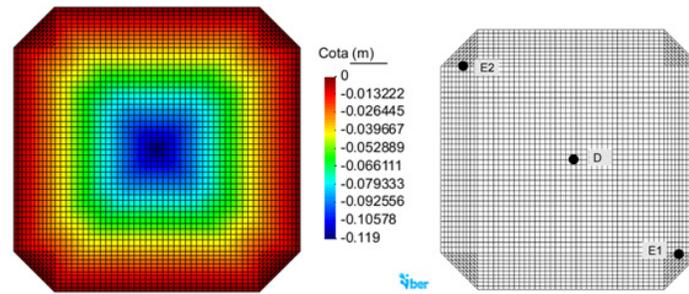


Figura 1 | Malla de cálculo de las piscinas (izquierda) y situación de las obras de entrada y salida (derecha).

Resultados y conclusiones

Los resultados indican que la alimentación mediante una única toma genera una distribución muy desigual de las velocidades dentro de las piscinas (Figura 2). Debido a ello, en estos casos es esperable que los peces se concentren en determinadas zonas de las piscinas (donde las condiciones hidrodinámicas sean más favorables) y eviten otras, reduciendo de esta manera la superficie útil. Estos gradientes observados en los campos de velocidades se deben principalmente a que el rozamiento con las paredes y el fondo y la turbulencia del flujo rápidamente disipan la energía del flujo de entrada, lo que unido a las dimensiones de las piscinas, reduce la extensión de la zona afectada por la obra de entrada. La obra de desagüe tiene un efecto reducido en las velocidades dentro de la piscina. Esto se explica por la confluencia de las líneas de flujo, que incrementan la disipación de energía.

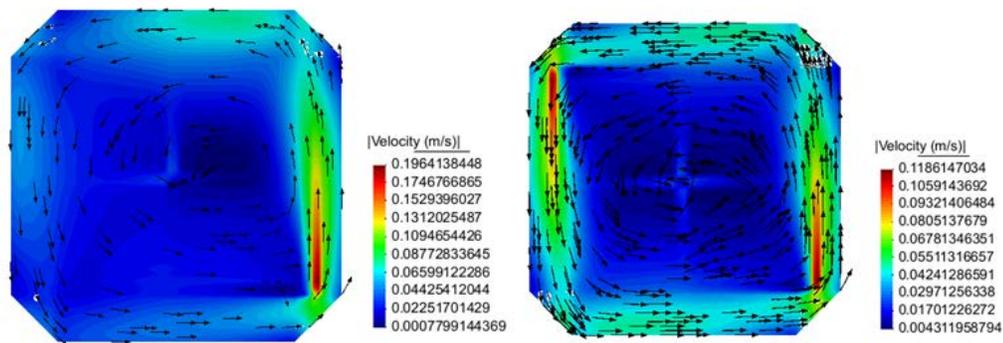


Figura 2 | Distribución de velocidades con una (izquierda) o dos (derecha) tomas de entrada, considerando una velocidad de flujo de 0.4 m/s

El estudio presentado sirve como punto de partida para la mejora de las piscinas de cría de peces. Los resultados de la simulación claramente indican la conveniencia de la alimentación mediante múltiples tomas. En futuras aplicaciones sería interesante analizar el comportamiento de los peces (según tamaño, especie, etc.) en las piscinas, con el fin de cuantificar su grado de conformidad a las condiciones existentes.

REFERENCIAS

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Coll, A. 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* 30(1), 1-10.
- Cea, L., Pena, L., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M.E., Peña E. 2007. Application of several depth-averaged turbulence models to simulate flow in vertical slot fishways. *Journal of Hydraulic Engineering* 133 (2), 160-172.

Influencia de la aireación del flujo en rápidas en la evolución del Número de Manning

Rebollo, J.J.^{a1}, López, D.^{a2}, Herrero, R.^{a3}, Garrote, L.^{b1}, Balairón, L.^{a4}, Díaz, R.^{a5} y Ramos, T.^{a6}

^a Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX). Paseo Bajo Virgen del Puerto, 3 (28005) Madrid. E-mail: ^{a1}juan.j.rebollo@cedex.es, ^{a2}david.lopez@cedex.es, ^{a3}ricardo.herrero@cedex.es, ^{a4}luis.balairón@cedex.es, ^{a5}ruben.diaz@cedex.es, ^{a6}tamara.ramos@cedex.es

^b ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Universidad Politécnica de Madrid). C/ Profesor Aranguren, 3 (25040) Madrid. Email: ^{b1}l.garrote@upm.es

Línea temática | D Estructuras hidráulicas

RESUMEN

El Laboratorio de Hidráulica del CEDEX está realizando actualmente una investigación sobre la influencia de la aireación en rápidas y cuencos de resalto en el marco del proyecto EMULSIONA (Plan Nacional de I+D del MINECO), cuyo objeto es analizar y caracterizar estos efectos a gran escala. La primera fase de la investigación se ha centrado en el estudio de la influencia de la aireación en las rápidas, donde se intenta evaluar la pérdida de energía para conocer la velocidad de entrega al final de la misma y así dimensionar la estructura de disipación necesaria. Analizando el estado del arte sobre esta temática, se mencionan diferentes mecanismos que influyen en la disipación de energía en rápidas: Frenado por fricción de contornos (Manning, 1889), Disipación turbulenta (Hinze, 1949) y Disipación por efecto la división y reagrupamiento de las burbujas.

Los efectos de la aireación en el primer mecanismo son contrapuestos a los restantes. En el flujo en rápida, con láminas de poca entidad debido a la velocidad, parece que la fricción será preponderante, mientras que en el resalto tiene mucho más importancia la turbulencia. En este sentido, el principal objeto de la experimentación será evaluar cuál de ellos tiene mayor influencia en cada caso.

En cuanto a la instalación experimental e instrumentación, se ha construido en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX una rápida de 6 m de altura y un cuenco de amortiguamiento de 9 m de longitud. La instalación se alimenta con un sistema de bombeo que permite alimentar un caudal de 300 l/s a través de una boquilla que permite regular el calado entre 2 y 20 cm. El dispositivo experimental consta además de un compresor de aire de 8 bares que permite alimentar caudales de hasta 2500 l/min de aire. Los principales equipos de medida y caracterización del flujo están formados por un tubo Pitot de fabricación propia, que toma una muestra de flujo emulsionado de forma continua.

Tras la fase de experimentación y análisis de resultados, se han obtenido valores de velocidad y concentración de aire a pie de rápida para una gama de ensayos que varían entre 155 y 300 l/s de caudal de agua y 0 y 2500 l/min de caudal de aire. Se ha podido observar y medir en la rápida que una mayor concentración de aire en el flujo se traduce en un aumento de la velocidad, en parte por la reducción de los efectos de la fricción (Mateos, 1987).

Asociado a este análisis, se ha obtenido el campo de concentraciones a lo largo de la vertical en el mismo punto, con el objeto de obtener la concentración media y poder relacionar esta variable con el número de Manning. Dadas las características del decantador, no ha sido posible determinar todos los datos de concentración a lo largo de la vertical, pero mediante métodos de fotointerpretación y con los valores de las zonas inferiores del canal, se ha extrapolado el rango de concentraciones a toda la sección.

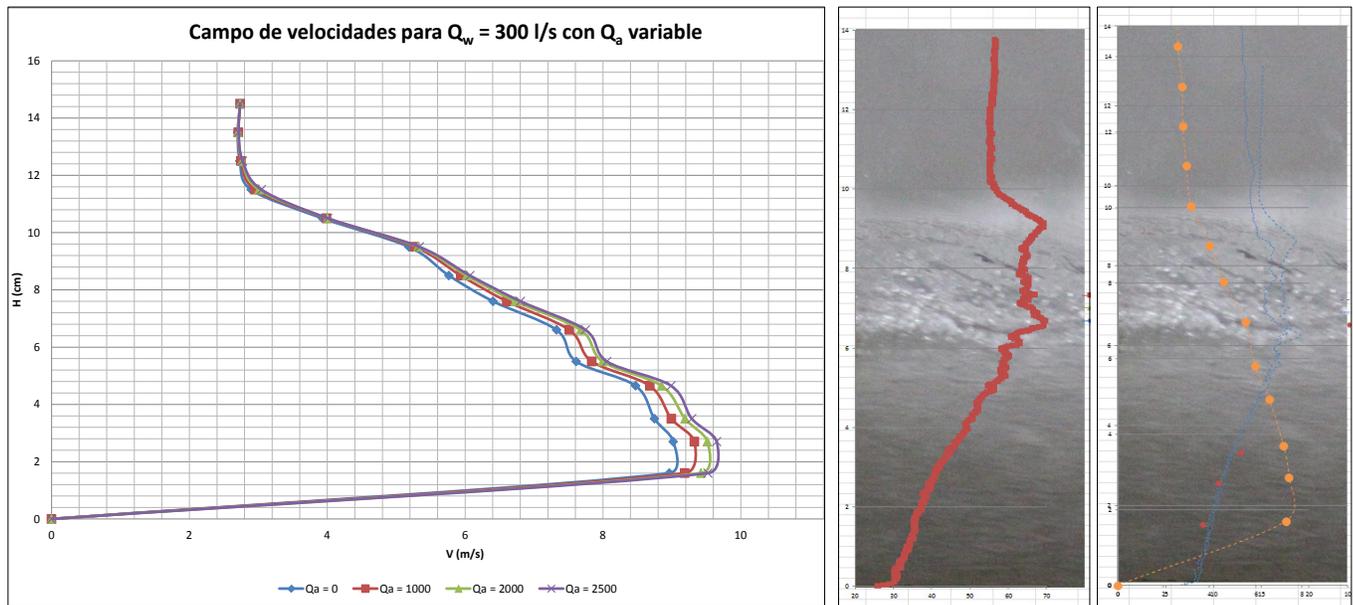


Figura 1 | Campo vertical de velocidades para una caudal de agua de 300 l/s con diferentes caudales de aire (Izquierda), campo vertical de concentraciones (centro) y superposición de campo de velocidades y concentraciones (derecha)

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto “ESTUDIO DE LA AIREACIÓN NATURAL Y FORZADA EN MODELO FÍSICO DE GRANDES DIMENSIONES Y ANÁLISIS DE SU INFLUENCIA EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS CUENCOS DE RESALTO HIDRÁULICO (LS-EMULSION)” financiado por el MINECO.

REFERENCIAS

- Bélanger, J. B. 1841. *Notes sur l'hydraulique*. Ecole Royale des Ponts et Chaussées, Paris, France
- Chanson, H. 2009. Development of the Bélanger equation and backwater equation by Jean-Baptiste Bélanger (1828). *Journal of Hydraulic Engineer*, 135(3), 159-163.
- Hager, W.H., Sinniger, R. 1985. Flow Characteristics of the Hydraulic Jump in a Stilling Basin with an Abrupt Bottom Rise. *Journal of Hydraulic Research*, 23(2), 101-113.
- Hinze, J.O., Milbourn, H. 1950. Atomization of liquids by means of a rotating cup. *Journal of Applied Mechanics*, 17. 145–153
- Manning, R. 1891. *On the flow of water in open channels and pipes*. Institution of Civil Engineers of Ireland. vol. 20. 161-207, Dublin, Ireland
- Rajaratnam, N. 1967. *Hydraulic Jumps*. Advances in Hydrosience 4. Academic Press. New York, USA
- Valero, D., Fullana, O., Gacia-Bartual R., Andrés-Domenech, I., Valles, F. 2014. Analytical formulation for the aerated hydraulic jump and physical modelling comparison. *3er LAHR Europe Congress*. Porto, Portugal

Análisis dinámico del flujo en reducciones cónicas en la aspiración de grupos de bombeo

Rodríguez-Orta, A.^{a1}, Pulido-Calvo, I.^{a2} y Chamber-Pérez, E.^b

^a Área de Mecánica de Fluidos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Campus La Rábida, Universidad de Huelva, 21819 Palos de la Frontera (Huelva). E-mail: ^{a1}antonio.orta@alu.uhu.es, ^{a2}ipulido@dcaf.uhu.es.

^b Enrivan I+C. E-mail: enrivan.dtortecnico@gmail.com.

Línea temática | D. Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

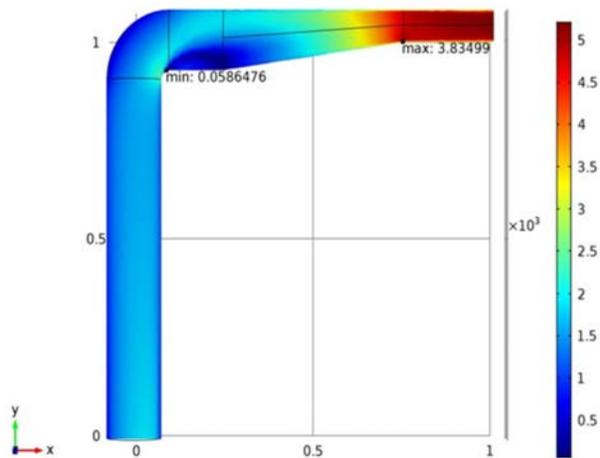
La simulación y análisis del comportamiento dinámico del flujo de agua que circula por la tubería de aspiración de un sistema de impulsión es fundamental para una operación adecuada de los grupos de bombeo. En general, la conexión entre la tubería de aspiración y el grupo motor-bomba requiere de una disminución en el diámetro de la conducción que se realiza mediante conos reductores.

Según la literatura especializada (Karassik, 1989; Mackay, 2004; Bloch, 2010; ANSI, 2016) se suelen recomendar reducciones excéntricas montadas con el cono hacia debajo de tal forma que la generatriz superior de la reducción quede en posición horizontal y sea paralela a la generatriz de la bomba. Esta recomendación se basa en la prevención de la formación y acumulación de bolsas de aire en la sección final del cono y, por tanto, así se podrán disminuir los efectos negativos asociados como la reducción de la sección de paso de los caudales circulantes, aumento de las pérdidas de carga, desequilibrio en el eje de la bomba, entre otros. Sin embargo, se debe mencionar que la geometría de un cono reductor excéntrico es asimétrica lo que implica distribuciones no uniformes de presiones y velocidades del fluido a la entrada de la bomba y, por tanto, condiciones de flujo no adecuadas para el correcto funcionamiento de los equipos de bombeo (Shukla y Kshirsagar, 2008; Mahaffey y Van Vuuren, 2014).

En este trabajo se presentan resultados preliminares de la simulación y análisis del flujo que trasiega por las conducciones de aspiración de grupos de bombeo (situados a una cota superior a la fuente de suministro del agua) considerando reducciones concéntricas y excéntricas con distintas geometrías (longitud y ángulo del cono reductor). Las simulaciones de Dinámica de Fluidos Computacional (modelos CFD) se han desarrollado con el programa COMSOL Multiphysics® utilizando el modelo de turbulencia K-Epsilon. En la Figura 1 se muestra, a modo de ejemplo, las distribuciones de presión y velocidad del flujo de agua en una aspiración con reducción excéntrica.

El objetivo principal de este trabajo es la evaluación de diferentes alternativas de diseño de los conos reductores necesarios en la conexión de la tubería de aspiración con el grupo de bombeo para conseguir regímenes adecuados de funcionamiento en el sistema de impulsión de una instalación hidráulica

Corte: Magnitud de velocidad (m/s) Línea Max/min: Magnitud de velocidad (m/s)



Corte: Presión (kPa) Línea Max/min: Presión (Pa)

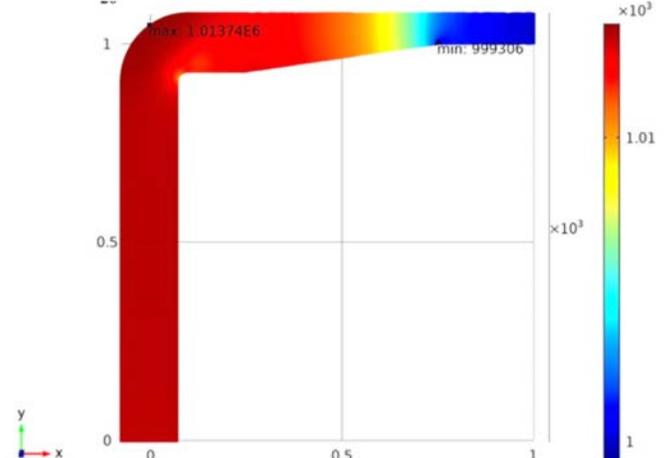


Figura 1 | Distribución de velocidades (m/s) y presiones (MPa) en una tubería de aspiración con reducción excéntrica.

REFERENCIAS

- ANSI (American National Standards Institute). 2016. *American National Standard for rotodynamic pumps for pump piping (ANSI/HI 9.6.6)*. Hydraulic Institute, New Jersey (EEUU).
- Bloch, H.P. 2010. Eccentric reducers and straight runs of pipe at pump suction. *Hydrocarbon Processing*, September 9, 2010.
- Karassik, I.J. 1989. *Centrifugal pump clinic*. Marcel Dekker (2º Ed.), Nueva York (EEUU).
- Mackay, R. 2004. *The practical pump handbook*. Elsevier Advanced Technology, Oxford (Reino Unido).
- Mahaffey, R.M., Van Vuuren. S.J. 2014. Review of pump suction reducer selection: Eccentric o concentric reducers. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering* 56(3), 65-76.
- Shukla, S.N., Kshirsagar, J.T. 2008. *Numerical prediction of air entrainment in pump intakes*. Proceedings of the Twenty-Fourth International Pump Users Symposium, Texas A&M University System Turbomachinery Laboratory, Texas (EEUU).

Modelo de llenado de grandes conducciones.

Romero, A.M.^{a1}, Arrué, P.^{a2}, Garcia-Serra, J.^{a3}, Espert, V.^{a4} y Biel, F.^{b1}

^{a1}Universitat Politècnica de València, Camino de vera s/n (46022-Valencia), E-mail: ^{a1}aromeros@csa.upv.es, ^{a2}paarbu@csa.upv.es,

^{a3}jgarcias@ita.upv.es, ^{a4}vespert@ita.upv.es,

^bEmimet, C/ Antiga Senda de Senent nº 8 5ª planta (46023-Valencia). E-mail: ^{b1}fbiel@emimet.es.

Línea temática | Estructuras hidráulicas

RESUMEN

La Universidad Politècnica de València (UPV) y la empresa Aguas de Valencia, S.A. (AVSA) trabajan conjuntamente en un proyecto de Investigación y Desarrollo que tiene como objetivo elaborar un protocolo para el llenado y vaciado de grandes conducciones. Para ello resulta imprescindible conocer muy bien el funcionamiento real de los elementos que intervienen en el sistema para decidir la forma en la que deben realizarse estas operaciones en condiciones de máxima seguridad, dado que nos encontramos siempre en presencia de bolsas de aire que, como fluido fácilmente compresible que es, puede originar sobrepresiones importantes. Pero tan importante es la elección de las ventosas adecuadas como el control de las válvulas de llenado y vaciado (desagües) para lograr una velocidad del flujo adecuada.

El presente trabajo se centra en lograr la caracterización hidráulica de las válvulas de llenado (la de las ventosas ha sido objeto de otro trabajo) y en la confección de un modelo matemático de simulación válido, en principio, para una tubería de pendiente constante en la que exista un punto de llenado y varias ventosas a lo largo de su perfil. Cabe decir que en la mayoría de las grandes conducciones del área metropolitana de Valencia se trabaja con tuberías de pendiente constante y con valores relativamente pequeños de la misma.

La importancia de una adecuada maniobra de las válvulas de llenado está fuera de toda duda, dado que es a través de ellas como se controla el flujo de entrada al sistema para lograr que las presiones en el interior de la tubería estén controladas.

Para la caracterización hidráulica de las válvulas se diseñó y construyó un banco de ensayo alimentado por una bomba de velocidad variable que aspira de un depósito con nivel de agua constante, válvulas reguladoras para generar mayor o menor contrapresión a la salida de la válvula objeto de estudio), contador con cabezal magnético, válvula de mariposa objeto de ensayo (dotada de bypass (BP) para simular un llenado a través de este) y otros elementos de medición y control. Para el caso de válvulas de 400 mm de diámetro se instaló un carrito transparente aguas abajo de la válvula objeto de estudio. Se obtuvieron datos de lectura de caudal, presión de entrada, presión de salida, nivel de salida, cuentavuelts de la válvula principal y cuentavuelts de la válvula en BP, todo ellos para cada grado de apertura y diferentes condiciones aguas abajo de la misma (sin presión y con diferentes presiones). Con ello se pudieron obtener las curvas modelizadas que indican cada grado de apertura, presión de entrada y presión de salida, el coeficiente de caudal (K_v) de la válvula.

Se observó que el K_v , para un grado de apertura dado, no se mantenía constante, sino que variaba de manera importante con las condiciones del flujo aguas arriba y aguas abajo.

Teniendo en cuenta la caracterización de la válvula de llenado, ventosas, geometría, características mecánicas de la tubería, características físicas del estado bi-fase agua-aire, temperatura, humedad relativa del aire y densidades, se confecciona el modelo matemático de simulación del llenado, partiendo de la ecuación de continuidad y de la ecuación de Bernoulli generalizada.

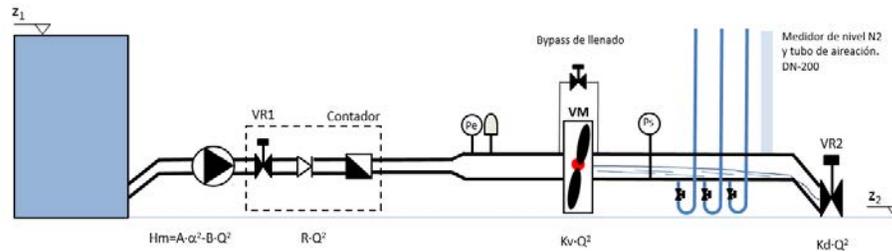


Figura 1 | Esquema del banco de ensayos de válvulas de mariposa en la empresa Aguas de Valencia.

El modelo de cálculo está diseñado para una conducción de diámetro y pendiente constante, con válvula de llenado de mariposa y un máximo de 5 ventosas, indicando su posición en la conducción. Se define el protocolo de llenado fijando el diferencial de tiempo de cálculo, la presión existente en la red que alimenta la conducción a llenar y el protocolo de apertura de la válvula que admite hasta 6 posiciones diferentes a lo largo del proceso de llenado

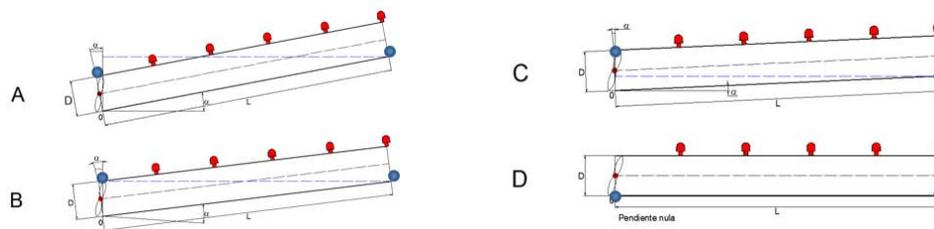


Figura 2 | Geometría de la conducción.

El modelo calcula, para cada instante de tiempo, el caudal de agua en la conducción, la cota del nivel de agua, la presión del aire, el caudal de aire expulsado por el conjunto de ventosas, etc. El modelo calcula el tiempo de llenado y produce un aviso en los casos de llenado incompleto por existencia de aire atrapado (por ejemplo, cuando se produce un cierre dinámico en la ventosa de posición más elevada). Se indica también el instante y el motivo del cierre de cada ventosa (llegada del agua o cierre dinámico). Se realiza también un estudio mecánico de la conducción en el estado de presión, depresión y sobrepresión por golpe de ariete calculado mediante la fórmula de Allievi en el instante final.

Para comprobar la fiabilidad del modelo se han realizado ensayos de llenado de una tubería de fundición dúctil de diámetro nominal DN-400 de 1 km de longitud presentando una desviación máxima del tiempo teórico y experimental del 12,5 %.

El modelo teórico es muy aproximado al comportamiento real. Las posibles causas de la variación de tiempo de llenado entre el modelo teórico y el ensayo experimental son el tiempo de maniobra de apertura de válvula hasta conseguir alcanzar condiciones estables de llenado en el ensayo, las posibles variaciones de la presión en la red que alimenta el sistema, las pequeñas variaciones del perfil de la conducción (se aproxima como de pendiente constante), así como algunos cambios de dirección que afectan a las diferencias entre la volumetría real y la volumetría teórica, así como y el grado de confianza de la modelización de la válvula de mariposa (llenado) y de las ventosas.

REFERENCIAS

- Abreu, J., Cabrera, E., Espert, V.B., García-Serra, J., Sanz, F. 2012. *Transitorios Hidráulicos. Del régimen estacionario la golpe de ariete*. Editorial UPV. Valencia.
- Fuertes, V.S. 2001. *Transitorios Hidráulicos con aire atrapado*. Tesis Doctoral. UPV. Valencia.
- Izquierdo, J., Fuertes, V. S., Cabrera, E., Iglesias, P. L., García-Serra, J., 1999, Pipeline start-up with entrapped air. *Journal of Hydraulic Research*. Vol. 37. Issue 5, 579–590. <http://dx.doi.org/10.1080/00221689909498518>.

Aliviaderos con cajeros altamente convergentes. ¿Posible solución para la presa de Oroville?

San Mauro, J.^{a1}, Salazar, F.^{a2}, Morán, R.^{b1}, Peraita, J.^{b2}, Toledo, M.Á.^{b3}, Conde, M.J.^{c1}, Flórez, V.^{c2} y Labalde, B.^{c3}

^aCentro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE). E-mail: ^{a1}jsanmauro@cimne.upc.edu, ^{a2}fsalazar@cimne.upc.edu

^bDepartamento de Ingeniería Civil, Hidráulica y Energética. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). E-mail: ^{b1}r.moran@upm.es, ^{b2}j.peraita@upm.es, ^{b3}matoleado@caminos.upm.es

^cServicios Técnicos FCC Construcción. E-mail: ^{c1}MConde@fcc.es, ^{c2}VFlorez@fcc.es, ^{c3}BLabaldeM@fcc.es

Línea temática | Estructuras hidráulicas

RESUMEN

En febrero de 2017 la presa de Oroville sufrió una avería grave con gran repercusión mediática. Aunque la seguridad del cuerpo de presa no se vio comprometida, fue necesario evacuar a 200.000 personas ante el riesgo de rotura del aliviadero de emergencia. Dicho aliviadero consiste en un vertedero de hormigón de 21m de altura máxima y una longitud de coronación de 282m cuyos caudales vierten directamente sobre la ladera sin revestir, lo que provocó su erosión (Figura 1) y el consiguiente riesgo de descalce. Según algunas informaciones publicadas durante la crisis, este riesgo se había detectado con antelación, lo que había llevado a evaluar la conveniencia de proteger la ladera. Esta opción, sin embargo, se descartó debido a que la gran extensión a proteger requería una inversión muy elevada (Phillips, 2017).

La situación de la presa de Oroville tiene algunas similitudes con otras presas a nivel mundial: parece conveniente incrementar su seguridad, pero con frecuencia se descartan actuaciones en ese sentido porque la inversión necesaria es importante, en especial en esta época de limitaciones en el presupuesto de las administraciones públicas. En este contexto, pueden resultar más atractivas determinadas soluciones no convencionales, que permiten incrementar la seguridad de presas con un menor coste.

Los aliviaderos con cajeros altamente convergentes son una de estas soluciones innovadoras para el incremento de la capacidad de desagüe, y por tanto de la seguridad hidrológica. Permiten disponer una longitud de vertido mucho mayor que el ancho de la estructura de disipación, que además puede ser más efectiva gracias a que parte de la energía se disipa en los canales laterales.

La principal limitación para la implementación de esta solución es la ausencia de criterios de diseño, lo cual hace necesario un estudio específico para cada caso particular. Como consecuencia de ello, hay pocos ejemplos de aplicación. El problema se pretende resolver con el proyecto de investigación CALA: “Mejora de la seguridad hidrológica e incremento de la capacidad de embalse de presas de fábrica mediante la implementación de canales laterales de recogida de vertidos”. Este proyecto parte de los resultados obtenidos en estudios anteriores (Morera et al., 2015) para redactar dichos criterios de diseño y desarrollar una aplicación para su predimensionamiento.

Uno de los aspectos interesantes en estudio es el comportamiento de los aliviaderos con cajeros altamente convergentes en cuencos asimétricos. Esta solución, que puede ser adecuada en determinados emplazamientos por la geometría de la cerrada y la situación relativa del cauce, parece encajar también en el aliviadero de emergencia de la presa de Oroville. La ventaja de implementarla en este caso reside en que con una obra de menor entidad se podría disipar una parte importante de la energía de vertido. En caso de producirse erosión, ésta quedaría limitada a una zona alejada del pie del aliviadero de emergencia, y por tanto no pondría en riesgo su estabilidad.

Se ha realizado el prediseño de la reforma del aliviadero de emergencia de la presa de Oroville con una solución de este tipo. El mismo se ha basado en un modelo numérico (Figura 1), con el que se ha verificado que la capacidad del canal lateral es adecuada y que la disipación que se produce en él y en el cuenco reduce el potencial erosivo. El código de cálculo utilizado es

una de las aplicaciones de KRATOS (Dadvand et al., 2010), que se ha utilizado previamente para el análisis del comportamiento de estructuras hidráulicas (San Mauro et al., 2016; Salazar et al., 2013).

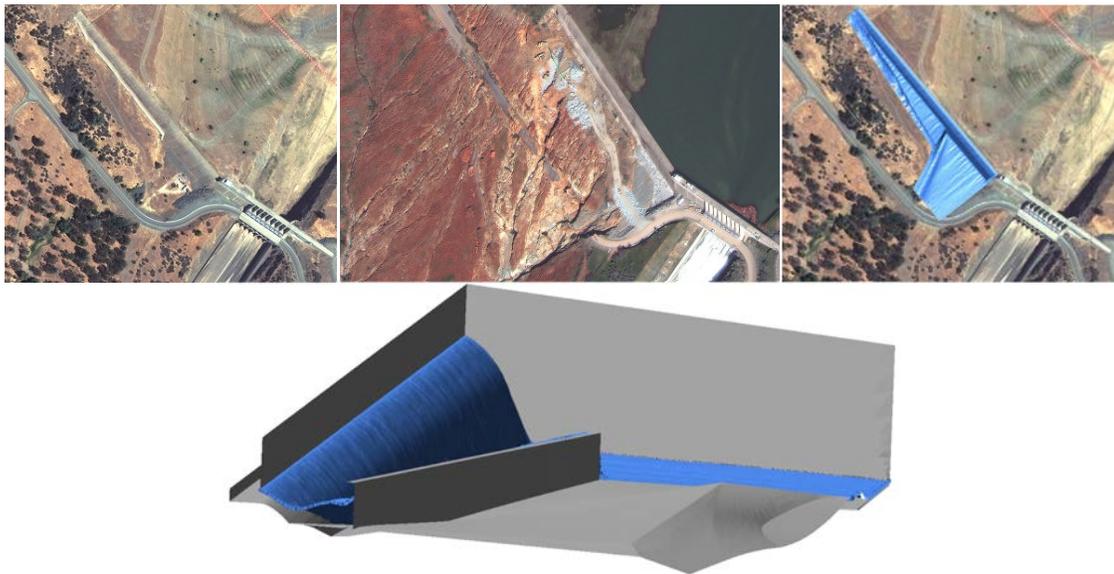


Figura 1 | Superior: Vista aérea del aliviadero de emergencia de la presa de Oroville antes del vertido (izquierda), después del vertido (centro) y simulación numérica de la actuación propuesta (derecha). Inferior: Perspectiva de la simulación numérica para predimensionamiento.

Se ha realizado también una estimación del coste de construcción de esta solución, que resulta ser mucho menor que el que se cita para la actuación que fue descartada. Ello demuestra que el desarrollo de soluciones no convencionales para el incremento de la capacidad de desagüe de presas permite invertir los recursos de forma más eficiente, lo que puede contribuir a llevar a cabo actuaciones que de otro modo no se acometerían por las restricciones presupuestarias.

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ministerio de Economía, Industria y Competitividad que ha financiado este trabajo a través del proyecto CALA de la convocatoria Retos Colaboración (RTC-2016-4581-5).

REFERENCIAS

- Dadvand, P., Rossi, R., Oñate, E. 2010. An object-oriented environment for developing finite element codes for multi-disciplinary applications. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 17(3), 253-297.
- Morera, L., San Mauro, J., Salazar, F., Toledo, M. Á. 2015. Highly-converging chutes as an overtopping protection for concrete dams: physical and numerical modelling. *Dam Protections against Overtopping and Accidental Leakage*, Toledo, Morán & Oñate (eds.). Taylor & Francis Group, London, 2015, p. 245-257
- Phillips, K. "The government was warned that the Oroville dam emergency spillway was unsafe. It didn't listen." *The Washington Post*. Publicado 14 Feb. 2017. Acceso 3 Abr. 2017. <washingtonpost.com>.
- Salazar, F., Morán, R., Rossi, R., Oñate, E. 2013. Analysis of the discharge capacity of radial-gated spillways using CFD and ANN—Oliana Dam case study. *Journal of Hydraulic Research*, 51(3), 244-252.
- San Mauro, L., Salazar, F., Toledo, M. A., Caballero, F. J., Ponce-Farfán, C., Ramos, T. 2016. Physical and numerical modeling of labyrinth weirs with polyhedral bottom. *Ingeniería del Agua*, 20(3), 127-138.

Determinación experimental de la viscosidad de una salmuera

Arnau Triadú^{ab}, Javier Sanz^{a1} y Martí Sànchez-Juny^{a2}

^aGrupo FLUMEN, ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Jordi Girona 1-3, edificio D1. ^bAigües de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestió del Cicle Integral de l'Aigua, S.A., Grupo Suez, General Batet, 1-7. E-mail: ^{ab}arnau.triadu@upc.edu ^{a1}javiersanz900@gmail.com ^{a2}marti.sanchez@upc.edu.

Línea temática | Estructuras hidráulicas

RESUMEN

Motivación

Es bien conocido cómo varía la viscosidad del agua en función de la temperatura a la que se encuentre (Sotelo, 1995). También es conocido cómo varía la viscosidad del agua cuando se le añade un determinado compuesto soluble, como la sal (Applebey, 1910). Pero cuando se trata de conocer la viscosidad del agua con varios compuestos solubles ya no es tanta la literatura existente, sobre todo en el caso de concentraciones altas. Y si este mismo fluido contiene además material insoluble entonces es necesario medir experimentalmente su viscosidad (Gillies et al., 1991).

Este trabajo experimental, que se ha llevado a cabo, forma parte de un estudio cuyo objetivo es analizar el comportamiento hidráulico en una tubería a presión de un tipo concreto de salmuera que contiene distintos compuestos salinos, además de un pequeño porcentaje de finos. Este análisis no se puede realizar sin al menos conocer el orden de magnitud de la viscosidad del fluido estudiado, ya que ésta es necesaria para el cálculo del número de Reynolds del flujo. Es para ello que se diseña y se construye un modelo hidráulico sencillo en el que se calculará de forma indirecta el valor de la viscosidad de la salmuera, para distintos valores de concentración de la parte sólida. Por otro lado, también se ha usado un viscosímetro de Ostwald para calcular la viscosidad de las mismas muestras de salmuera con filtrado previo de los finos, lo que permitirá conocer el efecto de las partículas insolubles en la viscosidad de estas muestras.

Instalación experimental

El modelo consta de dos depósitos con rebosadero situados a la misma cota y conectados por dos tubos metálicos de diámetros diferentes. El rebosadero del segundo depósito es 10 centímetros más bajo que el del primero, para generar una diferencia de presiones controlada que provoque la circulación del fluido contenido de un depósito a otro. Ambos rebosaderos están conectados a un depósito auxiliar para permitir su vaciado. En este depósito auxiliar hay una bomba sumergible que impulsa el líquido hacia el primer depósito, de forma que pueda mantenerse siempre lleno. Todas las conexiones cuentan con válvulas mariposa que permiten regular sus flujos, excepto en el caso de los tubos metálicos, donde el paso de flujo se regula con tapones roscados. La Figura 1 muestra el esquema del modelo.

Metodología

El diseño del modelo hidráulico permite conocer con mucha precisión el valor de la pérdida de carga del flujo en su viaje del primer al segundo depósito, cuando ambos se encuentran llenos a rebosar. Esta pérdida de energía se reduce a la diferencia de cota entre los niveles de ambos depósitos, a lo que hay que sumar la pérdida de carga local en la salida del tubo, deducida usando tablas existentes en la literatura (Lencastre y Robles García, 1998). Conocido este valor, se puede calcular la rugosidad absoluta de las tuberías fácilmente llenando los depósitos con un líquido de viscosidad conocida, en este caso agua destilada, y midiendo el caudal circulante en situación de equilibrio. Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la rugosidad son las de Darcy-Weisbach y Colebrook-White, tomando de incógnitas el coeficiente de fricción f y la rugosidad absoluta. Posteriormente,

se llenan los depósitos con el fluido de viscosidad desconocida y se mide otra vez el caudal que circula en situación de equilibrio. Utilizando las mismas ecuaciones, pero en este caso considerando como incógnitas el coeficiente de fricción f y la viscosidad del fluido, se puede calcular el valor de esta última.

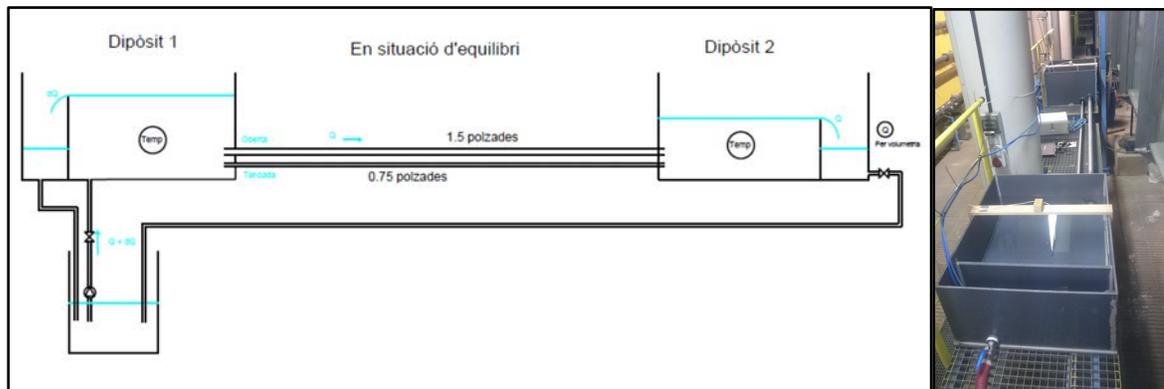


Figura 1 | Esquema (izquierda) y fotografía (derecha) de la instalación experimental. En azul, posición del fluido cuando se encuentra en situación de equilibrio.

Obviamente este proceso debe realizarse de forma independiente para ambos tubos, y los resultados obtenidos para cada uno deben coincidir, ya que la viscosidad es una característica inherente al fluido. En esta comunicación se expone un avance de los resultados obtenidos para el tubo de menor diámetro.

AGRADECIMIENTOS

Al apoyo económico de AGAUR, mediante el Programa de Doctorats Industrials de la Generalitat de Catalunya, Aigües de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestió del Cicle Integral de l'Aigua, S.A. (grupo Suez) e Institut Flumen (CIMNE, UPC).

REFERENCIAS

- Applebey, M.P., 1910. CCXI.—The viscosity of salt solutions. *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 97, pp.2000–2025.
- Gillies, R.G., Shook, C.A. & Wilson, K.C., 1991. An improved two layer model for horizontal slurry pipeline flow. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 69(1), pp.173–178.
- Lencastre, A.C. & Robles García, C., 1998. *Manual de ingeniería hidráulica*, Universidad Pública de Navarra.
- Sotelo, G., 1995. *Hidráulica general: fundamentos*, Limusa.

Tema monográfico

Entornos fluviales y aguas de transición: impactos de los medios urbanos

Acciones para contribuir en mejorar los servicios de 4 organismos operadores, ribereños del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. México.

Antúñez-Leyva, E.⁽¹⁾; Casados-Prior, J.A.⁽²⁾; Gómez-Lugo, L.⁽³⁾ y Hansen-Rodríguez, M.P.⁽⁴⁾

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Hidráulica, Subcoordinación de Hidráulica Urbana. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, 62550, México. E-mail: ¹eantunez@tlaloc.imta.mx; ²jorgecasados@tlaloc.imta.mx; ³lgomez@tlaloc.imta.mx y ⁴phansen@tlaloc.imta.mx;

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) realizó el presente trabajo con recursos de la Fundación Gonzalo Río Arronte I. A. P. (FGRA) en el Marco del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro (etapa IV 2014-2017), el alcance del presente trabajo fue determinar de manera conjunta las acciones específicas para contribuir en mejorar los servicios de agua potable y drenaje que brindan los Organismos operadores ribereños, a fin de reducir la contaminación del Lago de Pátzcuaro, cuerpo de agua emblemático del estado de Michoacán. Se fijó como meta alcanzar los 5 siguientes resultados: 1. Disminución de descargas de agua residuales al Lago de Pátzcuaro; 2. Protección a la comunidad por daño de inundación y evitar contaminación al Lago, reducir el volumen de azolve al Lago; 3. Disminución de residuos y desechos hacia el Lago de Pátzcuaro; 4. Acceso al servicio de agua potable a la población urbana y 5. Consolidación de los Organismos Operadores ribereños.

En México los Organismos Operadores de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOAPAS) son las entidades encargadas de prestar los servicios Municipales de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población, sin embargo no es tarea fácil dado el constante crecimiento demográfico y la demanda de los servicios, por ello los organismos operadores se ven minimizados en infraestructura y capacidad operativa, y en algunos casos los ingresos que obtienen por la prestación del servicio sólo alcanza para mantener la infraestructura existente de agua potable, alcantarillado y saneamiento, más no para ampliación de la misma o ejecución de acciones preventivas y de concientización ciudadana de no contaminar los cuerpos de agua, incluidos los arroyos que actualmente se utiliza como colectores de aguas residuales, como caso particular se presenta lo sucedido en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. Cabe hacer mención que el Lago de Pátzcuaro está rodeado por los Municipios de Quiroga, Erongarícuaro, Pátzcuaro y Tzintzuntzan quienes son los responsables directos del cuidado del Lago.

Metodología

Se identificó de manera conjunta con cada uno de los 4 organismos operadores la problemática urgente a atender, entre los que se pueden mencionar: Se tiene la problemática de líneas de conducción que pasa actualmente por predios particulares e incluso por debajo de construcciones habitacionales, poniendo en riesgo a la población en general y al propio personal del organismo operador, por tanto se requiere de la reubicación de estas líneas por la vía pública; Pérdida de volúmenes de agua que se fuga en tanques de almacenamiento / distribución en donde se han invertido recursos tales como: energía eléctrica, cloración y horas trabajo de operación del personal, además las fugas causan una mala imagen institucional para el organismo operador y el Municipio; Se tiene la problemática de infraestructura en riesgo latente por encontrarse situada en puntos vulnerables; Problemática de falta de infraestructura de red de agua potable y de drenaje para evitar focos de contaminación; Como resultado de un diagnóstico se identificó la necesidad de rehabilitación de 5 pozos profundos ribereños del Lago de Pátzcuaro, con la finalidad de eficientar en su conjunto el sistema y hacer uso racional de la fuente de abastecimiento; Se requiere rehabilitar las líneas de distribución de agua potable y de drenaje por problemas de fugas continuas y por consiguiente problemas de contaminación, esto debido a que ambos servicios comparten la misma zanja y solo una capa de tierra divide ambas infraestructuras; La baja recaudación de recursos por los servicios que presta el organismo operador, impide programar mantenimiento preventivos de la infraestructura y mucho menos contemplar su ampliación, al respecto se trabaja en usuarios

morosos; y finalmente la falta de un diagnóstico del área comercial que identifique acciones precisas, presupuestos y programas de financiamiento.

Entidades como la Comisión Nacional del Agua en Michoacán (CONAGUA) y la Comisión Estatal de Agua y Gestión de Cuencas del estado de Michoacán (CEAC) tienen dentro de sus programas anuales de obra apoyos para incrementar la infraestructura de agua potable, drenaje y saneamiento, sin embargo la mayoría de los problemas detectados se refieren a rehabilitación de infraestructura, no a incrementarla, por lo que se complica gestionar los recursos de las entidades antes mencionadas para rehabilitaciones de infraestructura. Bajo el marco de referencia antes mencionado se decidió brindar el apoyo entre la FGRA e IMTA precisamente en apoyar en acciones para contribuir en mejorar los servicios de los organismos operadores ribereños del Lago de Pátzcuaro, los resultados de estas acciones se describen a continuación.

Resultados (periodo 2014-2016)

PÁTZCUARO.- Rehabilitación de dos tanques metálicos elevados de almacenamiento / distribución: FOVISSTE IV e INFONAVIT II de aproximadamente 60 m³ cada uno. (Polímero con refuerzo mecánico, VITROACERO®); Elaboración de 7 proyectos de rehabilitación y ampliación de agua potable y alcantarillado sanitario. Suministro de 2,000 válvulas limitadoras de caudal (multicierre antifraude, usuarios morosos). Deshierbe y limpieza de las laderas de tres tramos del río Guan. Diagnóstico del área comercial del organismo operador.

QUIROGA.- Suministro de 2,200 válvulas limitadoras de caudal; Elaboración de 4 proyectos de rehabilitación y ampliación de agua potable. Diagnóstico del área comercial del organismo operador.

TZINTZUNTZAN.- Suministro de 1,000 válvulas limitadoras de caudal; Elaboración de 7 proyectos de rehabilitación y ampliación de agua potable y alcantarillado sanitario. Diagnóstico del área comercial del organismo operador.

ERONGARICUARO.- Rehabilitación de Tanque principal (aproximadamente 350 m³) con problemas de fugas de agua. (Polímero con refuerzo mecánico, VITROACERO®); Elaboración de 3 proyectos de rehabilitación y ampliación de agua potable y alcantarillado sanitario. Suministro de 300 válvulas limitadoras de caudal. Desazolve con camión vector en puntos críticos del drenaje de la cabecera municipal de Erongarícuaro. Diagnóstico del área comercial del organismo operador.

Finalmente para incrementar de forma indirecta la eficiencia física y fortalecer el área de fontanería se suministrará en este año 2017 el siguiente equipo: 1 cámara de video-inspección de tuberías, detector digital de tuberías y herramienta menor a 3 OOAPAS (cortadora de concreto, martillo demoledor, compactadora, compresor de aire de 2.5 HP, Tarraja eléctrica).

Conclusiones

El impacto social es de gran relevancia puesto que se están atendiendo problemas de salud debido a falta de infraestructura hidráulica, se ha logrado en el corto plazo (2014-2016) suministrar, ejecutar y elaborar 21 proyectos ejecutivos (rehabilitación y/o ampliación) a fin de mantener y ampliar la infraestructura con que brindan los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario los 4 OOAPAS ribereños; se cuenta también con un diagnóstico del área comercial por organismo operador que fortalecerá los logros alcanzados para avanzar hacia la sustentabilidad y autonomía de los OOAPAS, de manera que cuenten con ingresos propios suficientes para operar y mantener adecuadamente la infraestructura

Referencias

- Antúnez, L.E; Hansen, R.M.P; Maldonado, S.J; Álvarez A.L.R. (2009-2012). Sustentabilidad de los OOAPAS ribereños. Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro III etapa. *Informe anual 2010 y 2012*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Morelos, México.
- Antúnez, L.E. (2014-2015). Acciones de eficiencia de los OOAPAS ribereños. Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro IV etapa. *Informe de avance parcial 2015*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Morelos, México.
- Antúnez, L.E. (2015). Evaluación de la infraestructura electromecánica y video-inspección en 5 pozos profundos. Resultado: Acciones de rehabilitación presupuestadas. *XIV Seminario Iberoamericano de agua y drenaje; SEREA*, Guanajuato, Gto., México.
- Antúnez, L.E. (2015). Evaluación de la infraestructura electromecánica y video-inspección en 5 pozos profundos. Resultado: Acciones de rehabilitación presupuestadas. *Los servicios de agua y drenaje con una visión integral*, ISBN: 978-607-441-366-3, Sec. 5, cap. 8; p. 516-530.

Herramientas para la cuantificación del impacto hidrológico y ecológico de la producción hidroeléctrica

María Dolores Bejarano^a, Jaime H. García-Palacios^b, Álvaro Sordo-Ward^b, Carlos Alonso^c, y Christer Nilsson^a

^aGrupo Landscape Ecology, Departamento Ecology and Environmental Science, Universidad de Umeå, SE-901 87 Umeå, Suecia,

^bDepartamento de Ingeniería Civil: Hidráulica, Energía y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid, España.

^cDepartamento de Sistemas y Recursos Naturales, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid, España Autor para correspondencia: dolores.bejarano@umu.se.

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Introducción

La energía hidroeléctrica está siendo fomentada a nivel mundial por tratarse de una energía renovable y limpia. Sin embargo, su producción conlleva impactos al ecosistema fluvial, destacando las consecuencias ecológicas de la alteración de los regímenes naturales de caudales. Concretamente, las centrales a pie de presa operan de forma intermitente de acuerdo a los precios y a la demanda de energía, que varían de forma instantánea, provocando el fenómeno del hydropeaking. El hydropeaking consiste en la variación frecuente y rápida del caudal en un breve período de tiempo, generalmente a lo largo del día (variaciones intra-día o instantáneas), y que resulta en alteraciones de parámetros hidráulicos como el nivel del agua, la velocidad del flujo, o la tensión de arrastre, de la morfología fluvial y la calidad del agua. La investigación de los efectos ecológicos del hydropeaking es reciente, y la mayoría de los estudios se centran en comunidades piscícolas y de macroinvertebrados, olvidando otros elementos clave del ecosistema fluvial, como la vegetación riparia. Estudios científicos que i) ayuden a comprender la estructura y funcionamiento de los ríos sometidos al hydropeaking, ii) definan métricas que cuantifiquen la alteración hidrológica y ecológica derivada de éste, y iii) y establezcan relaciones alteración hidrológica – ecológica – económica, son esenciales para garantizar una producción hidroeléctrica sostenible, entendida como el balance óptimo entre producción e impacto. La investigación llevada a cabo en el marco del proyecto RiPeak (IEF Marie Curie actions) ha sido la primera en utilizar el bosque ripario como indicador del impacto del hydropeaking sobre el ecosistema fluvial. El conocimiento científico y las nuevas herramientas generados en este proyecto permiten identificar los escenarios de operación que minimizan el impacto sobre el bosque ripario y maximizan la producción hidroeléctrica, así como las más efectivas estrategias de restauración de dicho ecosistema. En este resumen, se presentan las herramientas para cuantificar el impacto hidrológico y ecológico derivado del hydropeaking e identificar escenarios de operación óptimos, resultantes del citado proyecto.

Herramientas de cuantificación del impacto hidrológico

Se proponen métricas hidrológicas que permiten caracterizar la magnitud, frecuencia, duración, momento y tasa de cambio de los eventos hidrológicos producidos a una escala temporal menor a la diaria y que constituyen el régimen de caudales instantáneo de un río. Para ríos sometidos a hydropeaking, además se propone el cálculo del impacto hidrológico mediante la comparación, métrica a métrica, con un régimen de caudales instantáneo de referencia. El cálculo de métricas hidrológicas de caracterización e impacto requiere de series de caudal instantáneos (p.ej.: horarios) procedentes de ríos con hydropeaking y de su correspondiente referencia. El software INSTHAN (Indicators of Short-Term Hydrological Alteration; Figura 1) ha sido desarrollado para facilitar el manejo de largas series de caudal instantáneo, la caracterización de las mismas, y la evaluación de

su grado de alteración (p.ej.; por hydropeaking). Se presenta la aplicación de INSTHAN en el tramo del río Ume afectado por hydropeaking (central hidroeléctrica de Harrsele; Suecia).

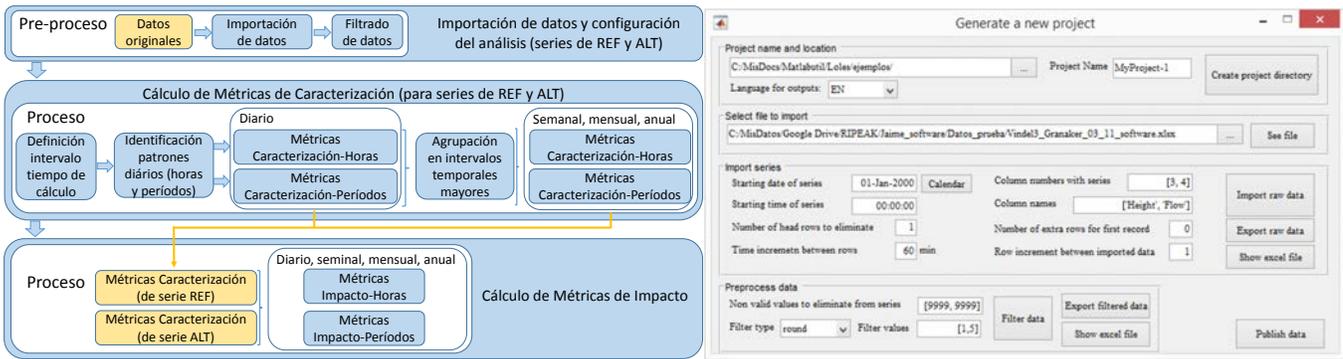


Figura 1 | INSTHAN. Izquierda: esquema conceptual; REF es referencia y ALT alterado. Derecha: ejemplo de pantalla del GUI.

Herramientas de cuantificación del impacto ecológico

Se proponen métricas ecológicas que permiten evaluar el impacto del hydropeaking sobre cualquier especie riparia de forma cuantitativa. Las métricas se centran en determinadas fases de desarrollo y características de las plantas que son especialmente sensibles a alteraciones del régimen de caudales instantáneo, tales como la germinación, o el estado de salud (p.ej.: características de raíz, tallo y hojas) de las plántulas en su primer año de vida. A modo de ejemplo, se presenta la evaluación del impacto ecológico causado por el hydropeaking en tres especies típicas de zonas riparias boreales (abedul, sauce y carex).

Identificación del óptimo escenario de operación

Las métricas hidrológicas y ecológicas anteriormente propuestas permiten desarrollar modelos cuantitativos que relacionan la alteración hidrológica (i.e., del régimen de caudales instantáneo) con su correspondiente alteración ecológica (i.e., del ecosistema ripario) que resultan de diferentes escenarios de operación de la central hidroeléctrica (i.e., diferentes regímenes de hydropeaking) (Figura 2). En base a estos modelos, es posible identificar escenarios de operación que garantizan el compromiso entre costos ambientales y económicos.

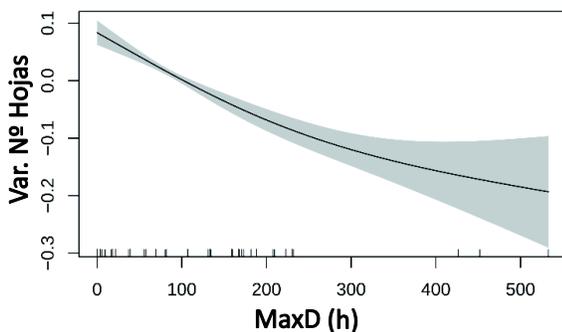


Figura 2 | GAM: Modelo Aditivo Generalizado. Relación entre las características claves del régimen de caudales instantáneo derivado de distintos regímenes de operación (hydropeaking) (p.ej.: Duración de la inundación más larga (h); eje X) y las características claves del ecosistema ripario (p.ej.: Variación del número de hojas en todas las especies testadas (#)-variable suavizada-; eje Y) en el periodo experimental.

Modelo de simulación hidráulica de drenaje dual en un área urbana para predicción de inundaciones en tiempo real

Bermúdez, M.^{a1}, Ntegeka, V.^{b1}, Wolfs, V.^{b2} y Willems, P.^{b3}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}maria.bermudez@udc.es

^bHydraulics Section, Department of Civil Engineering, KU Leuven, Belgium. E-mail: ^{b1}victor.ntegeka@kuleuven.be, ^{b2}vincent.wolfs@kuleuven.be, ^{b3}patrick.willems@kuleuven.be

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Los modelos de drenaje dual urbano 1D-2D han demostrado unas buenas capacidades para la predicción de inundaciones de origen pluvial (van Dijk et al., 2014). Dichos modelos están formados por un modelo bidimensional de flujo en superficie y un modelo unidimensional de flujo en la red de saneamiento, acoplados bidireccionalmente. Sin embargo, sus tiempos de cálculo suelen ser demasiado largos para los sistemas de predicción en tiempo real de inundaciones. De ahí el interés en desarrollar modelos subrogados o sustitutos, computacionalmente más eficientes. En este contexto, se pueden considerar dos enfoques generales de modelización: el uso de modelos físicos en los que se simplifican algunos de los procesos del modelo original y el desarrollo de modelos guiados por datos que emulan las respuestas del modelo original sin analizar los procesos físicos involucrados (Razavi et al., 2012). En este estudio se proponen y aplican dos modelos sustitutos de un modelo de drenaje dual 1D-2D que emplean ambos enfoques (Figura 1).

El primer modelo se basa en un modelo unidimensional detallado de la red de saneamiento en el que la superficie urbana está representada por depósitos virtuales ubicados en la parte superior de los pozos, que almacenan temporalmente el volumen de agua desbordado durante un evento de inundación. Para cada pozo se define un volumen cónico de almacenamiento, utilizando una definición por defecto basada en el área de drenaje de cada nodo y una definición mejorada basada en el área inundable estimada a partir de la topografía superficial. A partir de los volúmenes de inundación obtenidos en cada nodo se genera un mapa de inundación mediante un algoritmo de propagación basado en un análisis SIG de la topografía superficial.

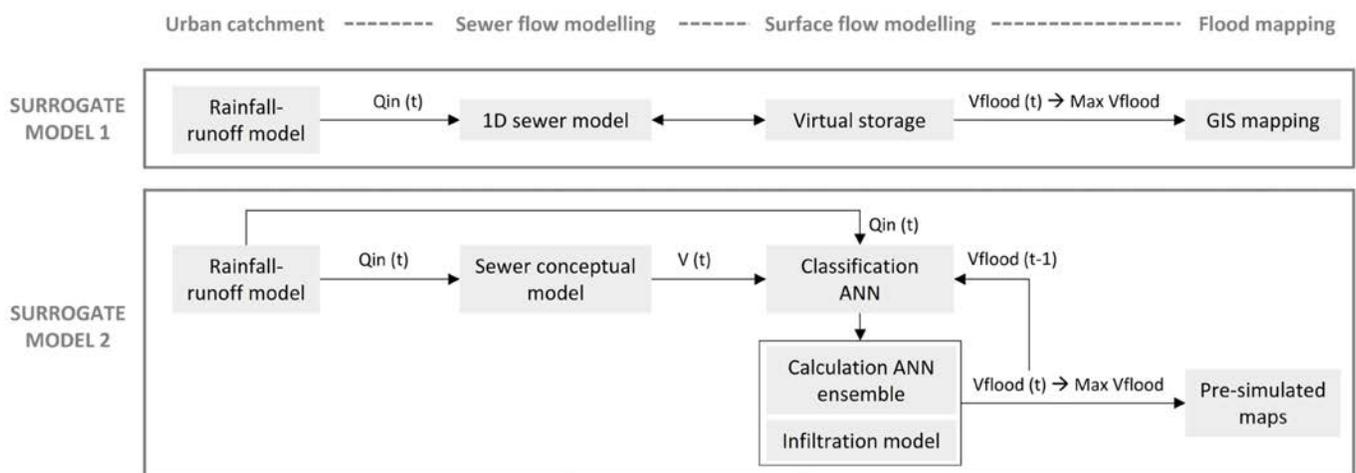


Figura 1 | Esquema de los dos modelos propuestos.

El segundo modelo combina componentes de base física y modelos guiados por datos en el marco de un modelo conceptual del sistema de drenaje dual. En primer lugar, el modelo emula los volúmenes en el sistema de saneamiento utilizando una topología de red conceptual, como se describe en Wolfs y Willems (2017). Posteriormente, estima los volúmenes de

inundación superficial, agregados en regiones predefinidas del área de estudio, mediante una conexión en serie de dos redes de neuronas artificiales y un modelo de infiltración. Para predecir la distribución espacial de la inundación dentro de cada región se utilizan eventos sintéticos pre-simulados, seleccionándose el mapa de inundación más próximo en volumen de inundación.

Como caso de estudio se considera la ciudad de Gante (Bélgica). El modelo original, un modelo de drenaje dual urbano 1D-2D implementado en el software InfoWorks ICM, cubre un área altamente urbanizada de 27.5 km². Los resultados muestran como el primer modelo sustituto puede ubicar correctamente los desbordamientos de la red de saneamiento y proporcionar una estimación del volumen máximo de inundación en superficie. A partir de estos datos es posible obtener un mapa de inundación máxima razonablemente preciso en base a la topografía de la superficie urbana. El segundo modelo sustituto puede emular con precisión la evolución de los volúmenes de inundación y puede ser por tanto utilizado para predecir la dinámica de inundación. Con ambos modelos se reducen drásticamente los tiempos de cálculo (más de 100 veces con respecto al modelo original), lo que posibilita su uso en aplicaciones como la predicción en tiempo real.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Innovyze la licencia del modelo InfoWorks ICM y a la empresa Farys el modelo original 1D de la red de saneamiento de la zona de estudio. María Bermúdez agradece a la Xunta de Galicia la concesión de su contrato postdoctoral (referencia ED481B 2014/156-0). Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto PLURISK de la Belgian Science Policy Office.

REFERENCIAS

- Razavi, S., Tolson, B.A., Burn, D.H. 2012. Review of surrogate modeling in water resources. *Water Resources Research* 48(7), W07401, doi: 10.1029/2011WR011527
- van Dijk, E., van der Meulen, J., Kluck, J., Straatman, J. H. M. (2014). Comparing modelling techniques for analysing urban pluvial flooding. *Water Science & Technology*, 69(2), 305-311, doi: 10.2166/wst.2013.699.
- Wolfs V., Willems P. 2017 Modular Conceptual Modelling Approach and Software for Sewer Hydraulic Computations. *Water Resources Management* 31(1), 283-298, doi: 10.1007/s11269-016-1524-2.

Predicción de inundaciones fluviales en un núcleo costero mediante un modelo de regresión de Máquinas de Vectores Soporte de Mínimos Cuadrados (LS-SVM)

Bermúdez, M.^{a1}, Cea, L.^{a2} y Puertas, J.^{a3}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}maria.bermudez@udc.es, ^{a2}luis.cea@udc.es, ^{a3}jeronimo.puertas@udc.es

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Los modelos bidimensionales de aguas someras han demostrado en los últimos años unas buenas capacidades para la predicción de inundaciones en zonas urbanas. Sin embargo, a pesar de que las técnicas de computación de alto rendimiento han reducido muy significativamente los tiempos de cálculo, este tipo de modelos continúan siendo poco prácticos para aplicaciones que requieren simulaciones de larga duración, resultados en un tiempo muy reducido (previsión en tiempo real), o un gran número de ejecuciones (técnicas de calibración tipo Monte Carlo). En este contexto surge la posibilidad de desarrollar metamodelos guiados por datos, computacionalmente más eficientes, que relacionan directamente datos de entrada y salida sin analizar los procesos físicos involucrados. Las técnicas de inteligencia artificial como las máquinas de vectores soporte o las redes de neuronas artificiales ya han sido aplicadas con éxito para la modelización de la transformación lluvia-escorrentía y la predicción de caudales (véase la revisión de Yaseen et al., 2015), pero apenas se encuentran en la literatura aplicaciones a la modelización de inundaciones (Jhong et al., 2017; Liu y Pender, 2015).

En este trabajo se propone y aplica un modelo de regresión no paramétrico basado en máquinas de vectores soporte de mínimos cuadrados (modelo LS-SVM) como metamodelo de un modelo de aguas someras bidimensional (modelo SWE) para el estudio de inundaciones. Como caso de estudio se considera el núcleo urbano costero de Vilagarcía de Arousa (Pontevedra), clasificado como Área con Riesgo Potencial de Inundación dentro del Plan Hidrológico de Galicia Costa. Primeramente se elabora un modelo SWE de esta zona urbana basado en el software Iber (Bladé et al., 2014) y se simulan un total de 100 eventos de inundación, cuyos resultados se utilizarán para la calibración y validación del metamodelo. A continuación se calibra un modelo LS-SVM en una serie de puntos distribuidos uniformemente en el área de estudio (~10000 puntos en 2 km²). Dichos modelos utilizan los hidrogramas y el nivel de marea prescritos en los contornos del modelo SWE como variables predictoras para estimar los calados máximos. A partir de las predicciones puntuales del modelo LS-SVM se generan mapas de inundación y de calados máximos mediante interpolación lineal.

Las predicciones del modelo LS-SVM muestran un buen ajuste con los resultados del modelo SWE, a pesar de la complejidad y la diversidad de las relaciones entre las variables predictoras y la variable respuesta en los distintos puntos (Figura 1). El error absoluto medio en la predicción de calado es inferior a 3 cm en validación (valor medio de todos los puntos), por lo que la reducción de precisión que conlleva el uso del metamodelo se considera asumible para la mayor parte de aplicaciones potenciales. Los tiempos de cálculo son del orden de unos segundos, lo que supone una reducción del orden de 1000 veces con respecto al modelo SWE. Así, es posible obtener con el metamodelo predicciones comparables a las del modelo SWE haciendo un uso más eficiente de los recursos computacionales disponibles.

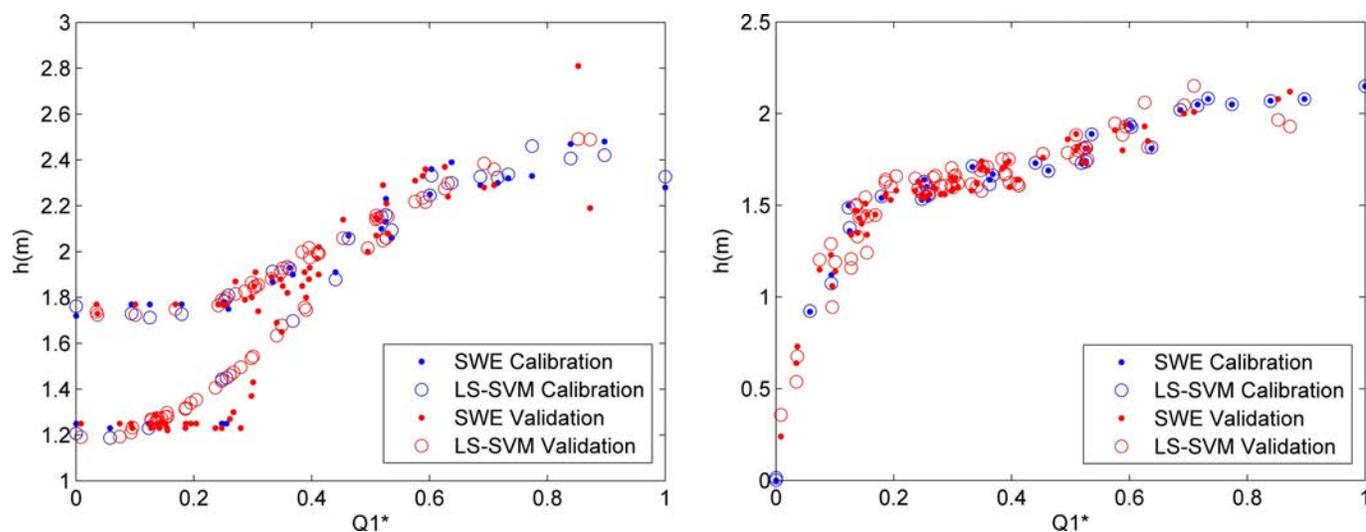


Figura 1 | Predicciones de calado (h) en dos puntos del área de estudio con el modelo SWE y el modelo LS-SVM en función del caudal máximo normalizado de uno de los hidrogramas de entrada ($Q1^*$).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto “CAPRI: Cálculo probabilístico de inundaciones con modelos hidrológicos de alta resolución espacial a partir de estimaciones de precipitación de radar” (referencia CGL2013-46245-R). María Bermúdez agradece a la Xunta de Galicia la concesión de su contrato postdoctoral (referencia ED481B 2014/156-0).

REFERENCIAS

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A. 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* 30(1), 1-10, doi: 10.1016/j.rimni.2012.07.004
- Jhong, B.-C., Wang, J.-H., Lin, G.-F. 2017. An integrated two-stage support vector machine approach to forecast inundation maps during typhoons. *Journal of Hydrology* 547, 236–252, doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.01.057.
- Liu, Y., Pender, G. 2015. A flood inundation modelling using v-support vector machine regression model. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 46, 223–231, doi: 10.1016/j.engappai.2015.09.014.
- Yaseen, Z. M., El-shafie, A., Jaafar, O., Afan, H. A., Sayl, K. N. 2015. Artificial intelligence based models for stream-flow forecasting: 2000–2015. *Journal of Hydrology* 530, 829–844, doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.10.038.

Reconstrucción paleohidráulica de caudal, escorrentía y precipitación durante inundaciones torrenciales en una pequeña subcuenca del río Guadalquivir

Del Moral-Erencia, J.D.^{a1} y Bohorquez, P.^{a2}

^{a1}Área de Mecánica de Fluidos, Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera, CEA Tierra, Universidad de Jaén, Campus de las Lagunillas, 23071, Jaén. E-mail: ^{a1}jdme0001@red.ujaen.es, ^{a2}patricio.bohorquez@ujaen.es.

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los eventos extraordinarios de inundaciones torrenciales acaecidos en la cuenca del arroyo de Ibros (Jaén, España) en los años 1997, 2009 y 2011. Dada la magnitud de los daños ocasionados tanto en infraestructuras urbanas como en parcelas cultivadas y la ausencia de afloramientos en la cuenca, se plantea la reconstrucción del caudal, la escorrentía y la precipitación mediante técnicas propias de paleohidrología y de análisis hidráulico e hidrológico. En última instancia, se desean identificar los factores que han incrementado el riesgo por inundación observado a día de hoy.

En primer lugar, se presenta una reconstrucción paleohidrológica del evento de mayor magnitud a través de evidencias halladas en trabajos de campo y de registros instrumentales disponibles en la zona de estudio entre los años 1997 y 2013. Para ello se identifican y procesan las tipologías de las evidencias de inundación halladas en series de ortofotos históricas, tales como arrastre de vegetación o erosión en los márgenes del cauce (Bohorquez, 2016). De esta manera, se reconstruyen las variables hidráulicas en diferentes tramos de la cuenca y se infieren los caudales mediante la comparación con las velocidades y los calados simulados (ver Figura 1) usando el software IBER (Cea y Bladé, 2015). Paralelamente, se recopilan e incluyen documentos históricos que corroboran las evidencias encontradas, aportando así información adicional.

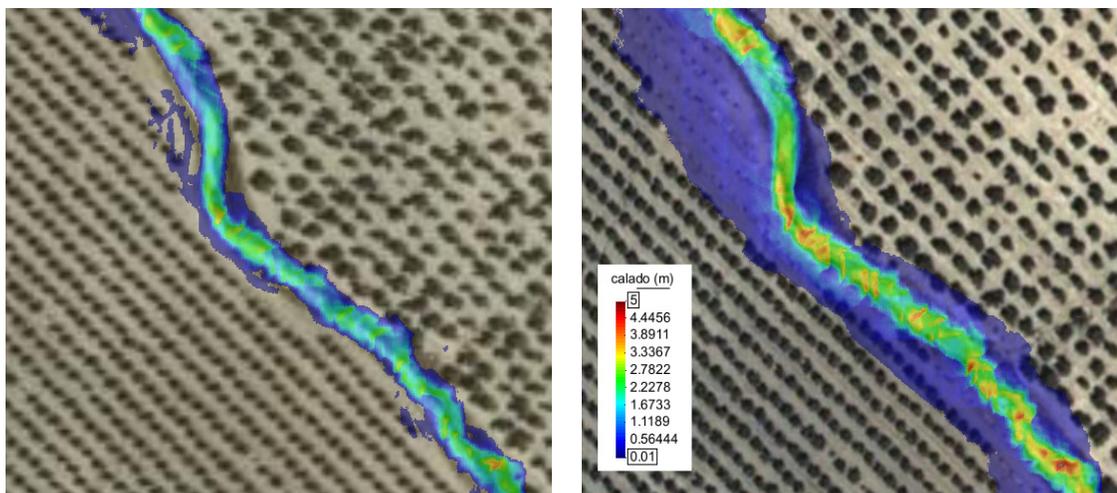


Figura 1 | Calado en un tramo del Arroyo de Ibros para un caudal de $70 \text{ m}^3/\text{s}$ en el que no llega a superar la capacidad del canal (izquierda), y durante el evento de septiembre de 2009 con un caudal de $150 \text{ m}^3/\text{s}$ (derecha).

Posteriormente, en la segunda fase del trabajo, se obtiene la intensidad de precipitación y la escorrentía generada en diferentes áreas de drenaje de la cuenca. La intensidad de precipitación se estima a partir de correlaciones disponibles entre los caudales y el área de drenaje, donde los caudales proceden de la primera fase del estudio. Para reconstruir la escorrentía se realiza una simulación bidimensional empleando el módulo de procesos hidrológicos distribuido de IBER, posibilitando la

reconstrucción del proceso de transformación lluvia-escorrentía en la cuenca de drenaje. En él se tuvo en cuenta el incremento de la hidrofobicidad del suelo tras el período seco estival, despreciando por tanto el valor de la infiltración (Miyata et al., 2010).

Los eventos de los años 2009 y 2011 tuvieron una magnitud relevante que se refleja en los datos de precipitación diaria y en la presencia de importantes deslizamientos y cambios morfológicos en el arroyo de Ibros. Dichos fenómenos no se habían producido desde el comienzo de la era fotogramétrica, esto es, desde 1945. Los datos de precipitación diaria, obtenidos a partir de pluviómetros próximos a la zona de estudio y de la base de datos *Spain02* (Herrera et al., 2016), presentaron valores máximos desde el comienzo de la serie (1950 y 1971, respectivamente). La elevada incertidumbre de estos datos, debido al empleo de técnicas de interpolación y de la baja densidad espacio-temporal de las estaciones pluviométricas, imposibilitó la obtención de los valores del hietograma en un evento inferior a una hora. Para finalizar, dicha incertidumbre fue analizada a través de comparativas entre los valores reconstruidos en la segunda fase de trabajo y las fuentes de datos antedichas.

La metodología presentada en este trabajo puede ser aplicada para la reconstrucción paleohidráulica del caudal, escorrentía y precipitación en pequeñas cuencas de drenaje no aforadas o en inundaciones torrenciales. Se debe destacar que en los últimos años ha cobrado importancia el análisis de las inundaciones torrenciales debido a su incremento en frecuencia y magnitud causado por los procesos de cambio climático, esperándose el incremento de la tendencia durante las próximas décadas (IPCC, 2013).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del Gobierno de España (MINECO/FEDER, UE) en el marco del proyecto SEDRETO CGL2015-70736-R y contrato predoctoral BES-2016-079117 (MINECO/FSE, UE) del Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad (convocatoria del año 2016).

REFERENCIAS

- Bohorquez, P. 2016. Paleohydraulic reconstruction of modern large floods at subcritical speed in a confined valley: proof of concept. *Water* 8(12), doi:10.3390/w8120567.
- Cea, L., Bladé, E. 2015. A simple and efficient unstructured finite volume scheme for solving the shallow water equations in overland flow applications. *Water Resources Research* 51(7), 5464-5486, doi:10.1002/2014WR016547.
- Herrera, S., Fernández, J., Gutiérrez, J.M. 2016. Update of the Spain02 gridded observational dataset for EURO-CORDEX evaluation: Assessing the effect of the interpolation methodology. *International Journal of Climatology* 36(2), 900-908, doi: 10.1002/joc.4391.
- IPCC 2013. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M.M.B. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Miyata, S., Kosugi, K., Nishi, Y., Gomi, T., Sidle, R.C., Mizuyama, T. 2010. Spatial pattern of infiltration rate and its effect on hydrological processes in a small headwater catchment. *Hydrological Processes* 24(5), 535-549, doi: 10.1002/hyp.7549.

Metodología para la mejora de la calidad de las aguas de las rías Baixas: Concello de Rianxo

Del Río, H.^{a1}, Calvo, E.^{a2} y Vázquez, R.^{a3}

^{a1}Egis Eyser S.A., Delegación de Galicia, Carretera Cambre-O Temple nº 3, 2ºD, Cambre (A Coruña). E-mail: ^{a1}ha.delrio@egis-eyser.com, ^{a2}e.calvo@egis-eyser.com, ^{a3}r.vazquez@egis-eyser.com.

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Introducción

Las rías de Galicia y, en especial, las rías Baixas, situadas al suroeste de la Comunidad, sufren importantes presiones antrópicas debido a la diferente distribución de la densidad de la población en el territorio gallego, existiendo una gran contraposición entre las áreas costeras, densamente pobladas, y el interior. Estas presiones ejercidas durante años sobre la morfología genuina de las rías Baixas han generado importantes impactos reflejados en la calidad de las aguas de las mismas. La principal normativa para las rías de Galicia es la *Lei 9/2010, de aguas de Galicia*, en la que en su Título VI (artículos 80-83) se hace referencia al “régimen especial de protección de la calidad de las aguas de las rías de Galicia”. En su anexo II se establecen los objetivos de calidad de los diferentes parámetros de contaminación entre los que destacan los indicadores bacteriológicos, cuyos límites están orientados a la protección de los diferentes usos y actividades que se desempeñan en las rías (cría de moluscos, marisqueo, baño, etc.).

En los últimos años la Administración Hidráulica de Galicia ha realizado un importante esfuerzo para la mejora de la calidad de estos medios acuáticos, siguiendo una metodología de planificación de actuaciones en materia de saneamiento basando su necesidad y priorización en los efectos sobre la calidad de las aguas. A continuación se presenta el desarrollo de la citada metodología y la descripción de las actuaciones resultantes para el Concello de Rianxo, ubicado en la vertiente norte de la ría de Arousa, con unos 23.000 habitantes-equivalentes.

Metodología de Planificación de Actuaciones

La metodología desarrollada por la Administración Hidráulica de Galicia, aplicada en Rianxo, se basa en el desempeño de las siguientes actividades:

- 1) Inventario en un SIG del sistema de saneamiento actual de Rianxo.
Campaña de campo para el inventario y topografía de los elementos que componen el sistema de saneamiento actual: pozos, colectores, impulsiones, EBARES, EDARES, etc.
- 2) Realización de una campaña de campo con aforo de caudales y caracterización de vertidos.
- 3) Elaboración de un modelo hidrológico-hidráulico calibrado del sistema de saneamiento actual.
Con la información obtenida en los dos primeros apartados se elabora un modelo calibrado de la red actual que servirá de herramienta para simular su comportamiento en diferentes escenarios meteorológicos. El modelo de red proporciona la caracterización de los vertidos hacia el medio receptor “outputs”.
- 4) Foto cero del estado actual de la calidad microbiológica de la ría de Arousa en el entorno de Rianxo
Mediante la elaboración de un modelo de calidad de la ría, en este caso en TURBILLÓN, precursor del IBER, programa de modelización 2D desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la UdC.
- 5) Propuesta de actuaciones para la mejora del sistema de saneamiento

Diseño de las actuaciones en base a las Instrucciones para Obras Hidráulicas de Galicia (ITOHG) de Augas de Galicia.

6) Implementación de las actuaciones en el modelo de red

Análisis del cumplimiento de los estándares de emisión establecidos en las ITOHG.

7) Simulación del modelo de calidad con las actuaciones introducidas en el sistema

Análisis de la mejora en la calidad microbiológica del entorno de la ría con la implementación de las diferentes actuaciones en el modelo de red.

8) Priorización de actuaciones basada en análisis de coste-beneficio ambiental

Análisis de coste-beneficio ambiental de cada una de las actuaciones propuestas para su priorización en el procedimiento administrativo de Augas de Galicia.

A modo de ejemplo, se presenta en la siguiente figura los resultados del modelo de calidad de la ría de Arousa en el entorno de Rianxo en los distintos puntos de control en la ría para las dos situaciones extremas.

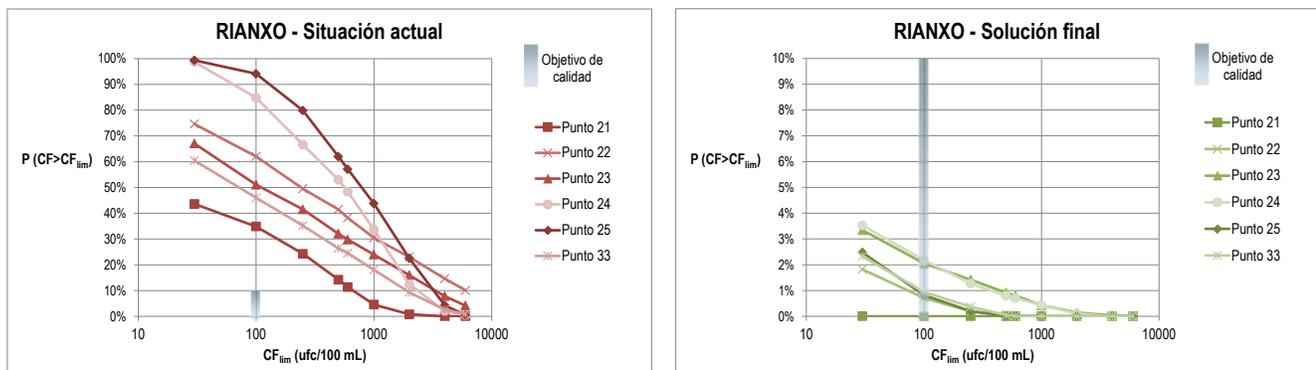


Figura 1 | Tiempo de superación de los límites de coliformes fecales en los puntos de control de calidad en Rianxo para la situación actual (izq.) y para la solución final (dcha.).

Actuaciones derivadas de la metodología

Las actuaciones prioritarias resultantes del desarrollo de la metodología descrita para el concello de Rianxo han sido las siguientes:

- Nuevo colector interceptor a lo largo de toda la fachada marítima de Rianxo, ejecutado con microtuneladora.
- Tanque de tormentas: depósito de regulación en cabecera de EDAR con unos 700 m³ de capacidad.
- Nueva EDAR: duplicación de la capacidad de la planta con tratamiento biológico y desinfección por UV.

Conclusión

En la presentación de esta comunicación se detallarán los pasos de la metodología descrita anteriormente y particularizada para el caso de Rianxo. También se describirán las características de las actuaciones prioritarias resultantes, actualmente desarrolladas a nivel de proyecto: colector en microtúnel, tanque de tormentas y ampliación de la EDAR.

REFERENCIAS

Xunta de Galicia. *Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas en Galicia – ITOHG. Serie Saneamiento.*

Características de las Descargas de Sistemas Unitarios (DSUs) en la ciudad de Murcia

Juan T. García^a, Pablo Espín^a, Antonio Viguera-Rodríguez^a, Luis G. Castillo^a, José M. Carrillo^a, Pedro D. Martínez Solano^b y Simón Nevado Santos^b

^a Grupo Hidr@m, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Cartagena, Paso Alfonso XIII, 52, 30203, Cartagena, España; juan.gbermejo@upct.es; pablo_fm7@hotmail.com; aviguera.rodriguez@upct.es; luis.castillo@upct.es; jose.carrillo@upct.es.

^b Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A., Plaza Circular 9, Murcia, España; pdmartinez@emuasa.es; snevado@emuasa.es.

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

La mayoría de los sistemas de saneamiento existentes en España y Europa, al igual que en la ciudad de Murcia, son unitarios. En este tipo de redes circulan por una misma conducción las aguas residuales generadas por la actividad humana comercial e industrial de las ciudades, en tiempo seco, junto con las aguas generadas por la escorrentía en la superficie de las ciudades de las aguas que provienen de un suceso de lluvia. Dichas redes unitarias, en el caso de recibir una lluvia de carácter torrencial inusual, no serán capaces de transportar la totalidad de los caudales recogidos a lo largo de las ciudades y sufrirán el fenómeno de desbordamiento que se denomina, en este caso, Descarga de Sistema Unitario (DSU).

Con la aprobación del Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, se establecieron las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas contemplando el hecho de que hasta la fecha no existiera una normativa específica que regulara los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia. De esta forma se incorporan al Reglamento de Dominio Público Hidráulico artículos que permiten limitar la contaminación producida por dichos desbordamientos, reconociendo que en la práctica no es posible construir los sistemas colectores y las instalaciones de tratamiento de manera que se puedan someter a tratamiento la totalidad de las aguas residuales en circunstancias tales como lluvias torrenciales inusuales. Dentro de este contexto, el conocimiento de las curvas de variación de concentración para un determinado contaminante (lo que se conoce como polutogramas) es fundamental a la hora de aplicar las medidas citadas en el Real Decreto 1290/2012.

El presente trabajo recoge un estudio de los flujos de contaminación movilizados durante el tiempo de lluvia en un sistema de saneamiento y drenaje unitario de dos cuencas urbanas situadas en el sureste de España, más exactamente en la ciudad de Murcia. Con el propósito de estudiar y profundizar en el conocimiento de la movilización de contaminación en ambas cuencas se realiza, en primer lugar, el cálculo de los hidrogramas, polutogramas e hietogramas de un conjunto de episodios de estudio.

Por medio del empleo de un modelo numérico de la red, se obtienen los hidrogramas asociados a cada uno de los episodios analizados en base a los hietogramas aportados por las estaciones pluviométricas de ambas cuencas. En cuanto a los contaminantes, se han obtenido el conjunto de polutogramas tomando como base las medidas de turbidez en ambos puntos de estudio.

Obtenidos los datos que permiten caracterizar el evento en cuanto a sus propiedades hidráulicas, hidrológicas y contaminantes, se puede proceder al estudio de las relaciones entre sus distintos parámetros característicos como pueden ser: la precipitación total, el periodo seco precedente, etc., con el objetivo de establecer herramientas de predicción que permitan mejorar las labores de gestión y operación de la red durante los sucesos tormentosos.

Tomando como base los parámetros hidráulicos, hidrológicos y contaminantes de 19 lluvias (10 en la cuenca denominada S1 y 9 en la cuenca San Félix), se han elaborado dos índices de predicción (Figura 1) que facilitan la obtención de los dos parámetros principales de un polutograma: el tiempo al pico de la turbidez (TPP) y el valor máximo de turbidez (C_{maxtb}).

Índice de tiempo al pico del polutograma

$$I_{TPP} = \left(\frac{T_{PH}}{T_C} \right)^{0.13} \cdot (P_{Total})^{0.02}$$

- Donde:
- T_{PH} : tiempo al pico del hidrograma (min)
 - T_C : tiempo de concentración de la cuenca (min)
 - P_{total} : precipitación total (mm)

Índice de concentración máxima

$$I_{CMax} = (P_{Total} \cdot i)^{0.3} \cdot (P_{seco})^{0.3} \cdot F_{forma}$$

- Donde:
- P_{total} : precipitación total (mm)
 - P_{seco} : días de tiempo seco precedentes (días)
 - F_{forma} : factor de forma de la cuenca
(10 · Área)/(L · cauce²)

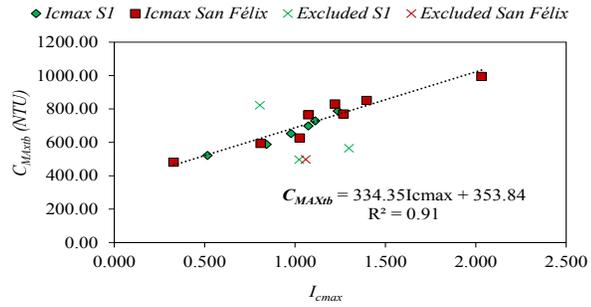
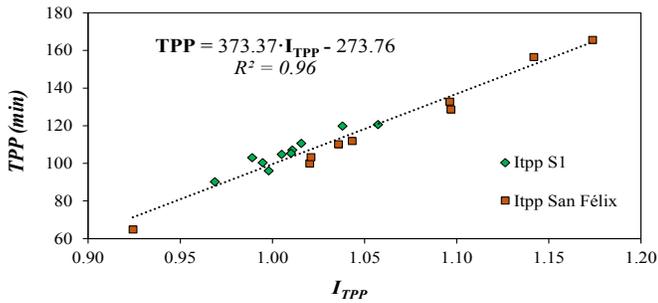


Figura 1 | Ajuste estadístico de los índices de predicción de contaminación.

Por medio de la predicción de los valores de turbidez máxima y tiempo al pico de dicha turbidez se presenta una metodología de construcción de polutogramas de diseño que permiten el cálculo de la turbidez a lo largo de cualquier evento de lluvia por medio de información de la cuenca y datos de precipitación y caudal de aplicación a las dos cuencas de estudio de la ciudad de Murcia.

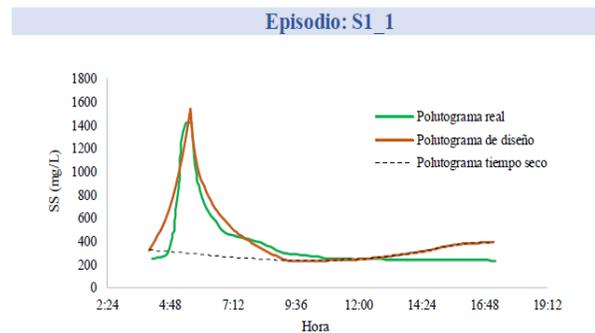
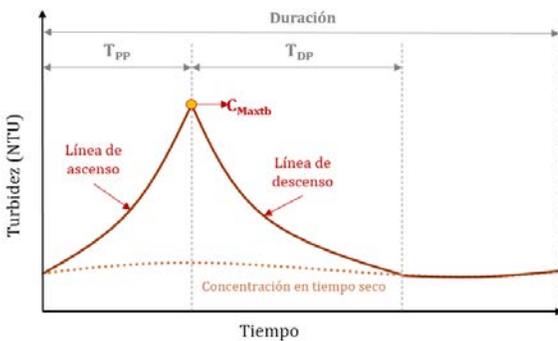


Figura 2 | Forma del polutograma de diseño y ajuste a un episodio real.

REFERENCIAS

Bersinger, T., Pigot, T., Bareille, G., Le Hecho, I. 2013. Continuous monitoring of turbidity and conductivity: a reliable, easy and economic tool for sanitation management. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 171, 151–162.

Del Río Cambeses, H. 2011. Estudio de los flujos de contaminación movilizados en tiempo de lluvia y estrategias de gestión en un sistema de saneamiento y drenaje unitario de una cuenca urbana densa de la España Húmeda. Tesis Doctoral. Universidade da Coruña.

Gupta, K., Saul, A. J. 1996. Specific relations for the first flush load in combined sewer flows. *Water research*, 30(5), 1244-1252.

Retirada parcial del relleno de Huarte

Gastesi R.^a, González J.^b, Pérez C.^c, Tanco I.^d y Amorena A.^e

^a Dpto. de Sistemas de Información Territorial. Sección de Ingeniería del Agua. Trabajos Catastrales S. A. (TRACASA). C/ Cabárceno, 6. 31621. Sarriguren. Navarra rgastesi@tracasa.es ^b Dpto. Ingeniería Civil y de la edificación. Universidad de Castilla-La Mancha ^c Director del Servicio de Economía Circular y Agua del Gobierno de Navarra ^d Alcalde del Ayuntamiento de Huarte y ^e Subdirector de Infraestructuras y Medio Ambiente de Servicios de la Comarca de Pamplona SA.

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

En las proximidades del río Arga, a su paso por el Municipio de Huarte (Navarra), en su margen izquierda se ha realizado el relleno del margen interior de un meandro ocupa una superficie de 5.27 ha y supone un volumen de tierras de aproximadamente 173.600 m³, aumentando su cota con alturas de 7 m respecto al nivel original en algunas zonas del mismo, evitando así su inundabilidad natural en momentos de avenida. En concreto este relleno se sitúa frente al Edificio Foro Europeo Escuela de Negocios de Navarra (Figura 1.D) y el Polideportivo Municipal de Huarte (Figura 1.C), ambos situados en la margen derecha (Figura 1). La inundación en esta zona se produce por el desbordamiento del río aguas arriba del conjunto de dos azudes (Figura 1.E y F) y el río se desborda en ambas márgenes. Un canal/acequia (Figura 1.A) que va desde el azud aguas abajo (Figura 1.F) hacia la harinera Huici-Leidan redirige parte del caudal de desbordamiento hacia la zona de Olaz-Txipi (Figura 1.A) en situación de avenida. No obstante, los calados y velocidades en dicha llanura de inundación son bajos. La existencia del relleno a efectos de los calados producidos ocasiona el incremento de calados aguas arriba del mismo en el inicio del meandro, aumentando aquí la extensión de la zona inundada, debido a que el relleno impide el desbordamiento que antes se producía en esa zona. La posible evolución morfológica del cauce con tendencia al incremento de la sedimentación en el cauce aguas arriba del relleno, agravaría los efectos del mismo al disminuir la velocidad en ese punto, facilitando así el desbordamiento.

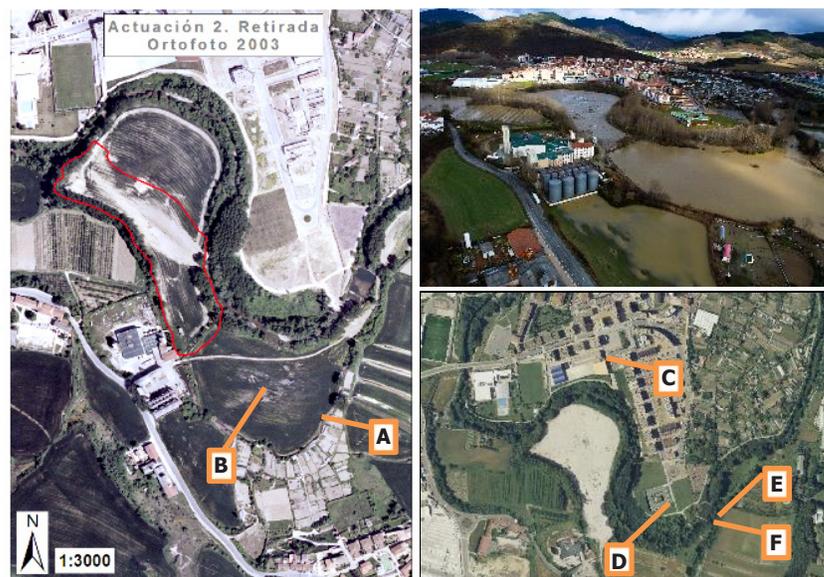


Figura 1 | Ortofoto del 2003 que muestra huellas de la trayectoria de la avenida de febrero de 2003 en ausencia del relleno. La línea roja muestra la actuación 2 (izda.) inundación de junio de 2013 (dcha. arriba) y foto aérea del relleno de Huarte (dcha. abajo)

Análisis de Medidas correctoras y propuesta

El presente documento presenta los resultados que desde el punto de vista hidráulico se han observado en el río Arga en el entorno de este relleno. El relleno produce una retención aguas arriba, impidiendo el desbordamiento sobre el meandro que tenía lugar previo a la existencia del relleno para periodos de retorno de 5 años y superiores. Ello obliga al incremento de velocidad en el cauce pudiendo acelerarse la erosión en el cauce, especialmente en la margen derecha exterior del meandro, si los materiales del cauce lo permiten. Se exponen las diferencias del comportamiento hidráulico en la zona en la situación actual de relleno, frente a la situación previa anterior a la existencia del relleno de tierras. Este documento incluye un análisis análogo para las dos propuestas de retirada parcial del relleno aquí planteadas, con especial énfasis a analizar el cumplimiento de los requerimientos hidráulicos marcados por la CHE, para aproximar el comportamiento hidráulico del río en la zona a la situación primitiva sin relleno. Dichos requisitos son la delimitación de la Zona de flujo preferente (ZFP) en todos los casos y las diferencias en las zonas de flujo preferente marcando especialmente aquellas zonas que pasan a tener inundación de graves daños. La Figura 2 muestra el mapa de calados para T100 para cada caso. La simulación de la avenida de 100 años de período de retorno permitirá el análisis de las variables de niveles y velocidades con el fin de delimitar la ZFP. Se considera que tanto la situación sin relleno como las dos alternativas propuestas (actuación 1 y actuación 2) cumplen con la definición de Zona de Flujo Preferente y se cuantifica el incremento de la zona de graves daños resultante de adoptar cada una de las alternativas propuestas. Se observa cómo la actuación 1 y actuación 2 consiguen velocidades y energía total cercanas a la situación sin relleno, por lo que reproducen la dinámica del río de manera satisfactoria, mientras que en las secciones que están propiamente en el meandro se observa como en la situación actual con relleno las velocidades y también la energía total (aunque de una manera menos marcada) son considerablemente mayores que en la situación inicial sin relleno.

Las diferencias de calados son muy parecidas independientemente de la actuación elegida, se consigue una disminución de calados muy parecida adoptando la actuación 1 o la actuación 2, asimismo la comparación de las velocidades de ambas actuaciones muestra como sus diferencias son mínimas, por todo ello la medida correctora propuesta es la actuación 2.

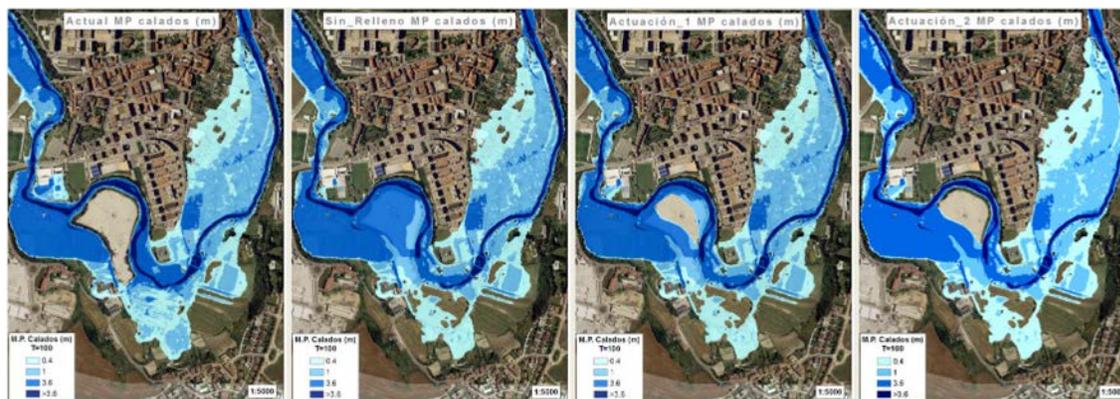


Figura 2 | Calados para T100 y situación en planta de los distintos casos analizados: actualidad (con relleno), situación previa y propuesta de retirada total (sin relleno), propuesta 1 de retirada parcial más franja interna del meandro (actuación 1) y propuesta de retirada parcial seleccionada (actuación 2).

En la Actuación 2 se propone sólo la retirada parcial del relleno, en su tramo aguas arriba del meandro siguiendo la huella de la avenida de Febrero del 2003, lo que supone un volumen aproximado de 84.400 m³ de tierras, aproximadamente el 49% del volumen de relleno actual, quedando una superficie de relleno remanente de 2.62 ha. En el perímetro del relleno remanente resultado de la retirada parcial propuesta se ha considerado un talud de pendiente aproximada 1:2. En el desarrollo de esta solución debe de cuidarse la erosionabilidad del relleno, especialmente en la zona donde se produce el desbordamiento y la corta del meandro. En la primavera de 2017 el Ayuntamiento de Huarte iniciará las obras de evacuación y reperfilado de tierras de acuerdo al proyecto realizado. Una vez concluidos los movimientos de tierras se ejecutará la restauración fluvial proyectada y se incorporará este espacio en el Parque Fluvial de la Comarca de Pamplona.

Drenaje urbano y planeamiento: el Plan Director como herramienta para el desarrollo urbano sensible al agua en la Comunidad de Madrid

Paula González Laynez^{a1}, Olga García Marcos^{a2}

^aCanal de Isabel II, Dirección de Innovación e Ingeniería, Subdirección de Proyectos, Área de Cartografía y GIS. Dirección: Plaza del Descubridor Diego de Ordaz, nº 3, 4^adcha. E-mail: ^{a1}playnez@canaldeisabelsegunda.es, ^{a2}ogmarcos@canaldeisabelsegunda.es

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Canal de Isabel II gestiona en la actualidad las redes de alcantarillado de 135 municipios de la Comunidad de Madrid, y más de 130 sistemas con Colectores y Emisarios “en alta”, que conducen los caudales hasta las EDAR. En total se realiza la gestión de más de 16.000 km de red de alcantarillado. Dentro de la labor de planificación y racionalización de inversiones, en los últimos diez años se ha realizado un esfuerzo en la actualización cartográfica de la red, que ha servido de base para la realización de más de 150 Estudios de Diagnóstico y Planes Directores, que continúan realizándose en la actualidad. Los Planes Directores han permitido tener un profundo conocimiento de la red en cuanto a situación y a estado, así como disponer de una herramienta de modelización que permita el planteamiento de soluciones apropiadas para los distintos problemas.

La filosofía que se ha seguido en el planteamiento de soluciones para el drenaje urbano en los Planes Directores ha sido doble: solucionar inundaciones y minimizar y controlar los vertidos desde las redes unitarias al medio, en cumplimiento de la legislación vigente.

Además, respecto a los ámbitos de crecimiento urbanístico previstos en las distintas figuras de planeamiento, el Plan Director establece limitaciones en el aporte de caudales a las redes existentes, de forma que pueda anticiparse la reserva de suelo necesaria y los condicionantes específicos que en cada caso deban tenerse en cuenta en los proyectos de urbanización.

A la espera de la publicación de las Normas Técnicas del Ministerio de Medio Ambiente, que desarrollen los criterios concretos con que realizar los proyectos que permitan cumplir las exigencias del Real Decreto 1290/2012, las Normas para Redes de Saneamiento de Canal de Isabel II han incorporado en su versión de 2016 dos puntos concretos sobre el diseño de tanques anti-inundación y tanques anti-contaminación, que han servido de referencia en el planteamiento de las soluciones de los Planes Directores de Drenaje Urbano. Asimismo, la nueva versión de las Normas recoge un Anexo dedicado a las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible, con el objetivo de incorporar estas técnicas al resto de elementos de las redes de drenaje urbano, normalizando su convivencia con los elementos tradicionales del alcantarillado.

Gracias a la figura del Plan Director de Drenaje Urbano, existe una guía para dar respuestas coherentes y con un enfoque sensible al agua a los nuevos desarrollos urbanos. En un contexto en el que se evidencia un cambio del régimen pluviométrico en las últimas décadas, así como una legislación cada vez más exigente, el Plan Director de Drenaje Urbano es un nexo de unión muy útil entre el Planeamiento Urbanístico y la Gestión Avanzada del Alcantarillado, que permite aunar las sensibilidades de los distintos entes implicados.

Estimación del caudal ecológico de la cuenca binacional del río Bravo/Grande mediante el contraste de modelos hidrológicos.

Guerra-Cobián, V. H.^a, Ferriño-Fierro, A. L.^b, Cavazos-González, R. A.^c y Palomo-Mendoza, J. C.^d

^{a,b,c,d} Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Civil. Av. Universidad s/n, Ciudad Universitaria, San Nicolás de Los Garza, Nuevo León, México, C.P 66455. ^a Centro Internacional del Agua, victor.guerracb@uanl.edu.mx. ^b Instituto de Ingeniería Civil, adrian.ferrinofr@uanl.edu.mx. ^c Facultad de Ingeniería Civil, ricardo.cavasozgzz@uanl.edu.mx, ^d Estudiante de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil, cpalomomendoza@live.com.

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

El caudal ecológico representa un instrumento de gestión que permite acordar un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos como un proceso que promueve el desarrollo y el manejo coordinado del agua, para con esto lograr maximizar el bienestar económico y social de una manera equitativa y sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas asociados al cauce. Para hacerle frente a esta creciente necesidad e interés en la determinación de caudales ecológicos para la conservación de los ecosistemas convergentes a los ríos, en México se han realizado distintos esfuerzos, tanto en la difusión técnica y la aplicación de metodologías, como en su intento de regularlo mediante el marco legal (Barrios et al, 2011). Algunas de estas investigaciones han derivado en la publicación, en el Diario Oficial de la Federación, de la declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana MX-AA-159-SCFI-2012 el 20 de septiembre de 2012, la cual “Establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas”. Manifestándose que este tema es relativamente nuevo para las instituciones gubernamentales encargadas de la gestión del agua en nuestro país. La definición de caudal ecológico según esta norma es la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua reservada para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales (DOF, 2012).

El presente trabajo se enfocó en realizar la estimación del caudal ecológico mediante el contraste de resultados de los métodos hidrológicos mencionados en la norma mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012. Específicamente, el proyecto se centró en el río Bravo/Grande que es límite y frontera natural entre Estados Unidos de América (EE.UU.) y México (figura 1), partiendo de la zona comprendida entre Ciudad Juárez Chihuahua, México y la ciudad de El Paso Texas, EE.UU. hasta su desembocadura en la Ciudad de Matamoros Tamaulipas, México y La ciudad de Brownsville, Texas en EE.UU.

De acuerdo con la Comisión Internacional de Límites y Aguas entre EE.UU. y México, actualmente no hay algún estudio de estas características en este cuerpo de agua (CILA, 2017), aun y cuando en la reunión binacional organizada por Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) en 2008 en Texas, donde participaron 20 organizaciones académicas, gubernamentales y de la sociedad civil; se plasmó entre las visiones la de conservar los hábitats dependientes del río (Von Der Meden *et al.*, 2011). Además, el valle del bajo río Bravo/Grande es considerado una de las regiones más diversas en términos de biodiversidad en el mundo (OAS, 2013).

Para el estudio se consideraron 37 estaciones hidrométricas de las 73 que tiene a su cargo la CILA sobre el lecho del río Bravo/Grande y sus principales afluentes; entre las que se tomaron en cuenta se tienen 18 sobre el cauce. Se dividieron las 37 estaciones involucradas en el estudio en 3 diferentes clases. La división se realizó debido al comportamiento de los gastos que circulan por ellas, y a que, entre ellas existen dos presas de gran relevancia. Las estaciones de la clase 1 fueron 11, las de la clase 2 fueron 21 mientras que las de la clase 3 fueron 5 estaciones. Los métodos hidrológicos utilizados fueron los de la norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012. Estos métodos son: el método de Tennant modificado por Gracia para México, el “De Gran Visión” de la Alianza WWF–Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. y el “Detallado” de esta misma alianza. De los resultados arrojados por estos métodos para cada tramo se tomaron los valores más altos para cada mes para así formar un V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de octubre. A Coruña

Régimen de Caudal Ecológico para cada tramo. Los comportamientos de los regímenes de caudales ecológicos se comportaron en forma de incremento, de aguas arriba a aguas abajo, en los tramos conformados por las estaciones de clase 1 y 2, mientras que en los tramos de las estaciones de clase 3 se comportaron en forma de decremento, de igual manera de aguas arriba a aguas abajo.

Por último en cuanto a los tramos en conjunto de las clases, el tramo con mayor caudal ecológico fue el conformado por las estaciones de clase 2, seguido del caudal del tramo de las de clase 3 y finalmente el tramo de las estaciones de clase 1 fue el que menor caudal ecológico registrado.



Figura 1 | Localización de la cuenca del río Bravo/Grande en la república Mexicana (<http://cuencas.inec.gob.mx/cuenca/>).

REFERENCIAS

- Barrios Ordóñez, J.E., R. Sánchez Navarro, S.A. Salinas Rodríguez, J.A. Rodríguez Pineda, I. D. González Mora, R. Gómez Almaraz, H. Escobedo Quiñones y J.A. Reyes González (2011). *Guía para la determinación de caudal ecológico en México. Programa Manejo del Agua en Cuencas Hidrográficas: Desarrollo de Nuevo Modelos en México*. Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I. A. P. México, 98 pp.
- Diario Oficial de la Federación (2012). Norma Mexicana MX-AA-159-SCFI-2012, “Procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas” 118 págs. Publicación del 20 de septiembre del 2012.
- Von Der Meden, J., Rodríguez, A., De la Maza, M., Zapata, J., Martínez, A., Cleghorn, A., Parra, H., Briggs, M., Montes, J. Y Peters, E. (2011). Las cuencas hidrográficas de México. Cuenca transfronteriza del río Bravo/Grande.
- Comisión Internacional de Límites y Aguas (2017), Página de internet oficial <http://www.ibwc.gov>.
- Organization of American States (2013). Marco regional para el uso sostenible del Río Bravo. Department of Sustainable Development (DSD), Recuperado el 15 de octubre del 2013 de la página de internet: http://www.oas.org/dsd/WaterResources/projects/RioBravo_esp.asp.

Influencia del régimen pluviométrico en el lavado inicial de pavimentos permeables

Carmen Hernández-Crespo^{a1}, Miguel Martín Moneris^{a2}, Valerio C. Andrés-Valeri^b, Ignacio Andrés-Doménech^{a3}

^a Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València (Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, ^{a1}carhercr@upv.es; ^{a2}mmartin@hma.upv.es; ^{a3}igando@hma.upv.es)

^b Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción, Universidad de Cantabria (Av. de los Castros 44, 39005 Santander, valerio.andres@unican.es).

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

El drenaje urbano sostenible representa una solución basada en la naturaleza que concilia la gestión del agua con su ciclo natural, restituyendo procesos naturales como la infiltración y la evapotranspiración. Tras varias décadas demostrando su eficacia, actualmente los sistemas de drenaje sostenible (SuDS) se consideran infraestructuras inteligentes y resilientes, que ofrecen protección frente a las inundaciones y la contaminación difusa, y confieren estética y biodiversidad a las ciudades. Una de las principales retenciones que presentan las superficies urbanas permeables es la incertidumbre asociada a la colmatación de las mismas por la deposición continua de contaminantes. Por ello, su correcto mantenimiento es un aspecto fundamental para garantizar su sostenibilidad a largo plazo (Sañudo-Fontaneda et al., 2014). Otro aspecto que genera retención recae sobre la calidad del agua que es filtrada e infiltrada, debido en parte a que es una de las cuestiones de las que menor información se dispone. Una de las actividades del proyecto SUPRIS en el que se enmarca esta comunicación persigue avanzar sobre esta importante cuestión, así como evaluar la influencia de la acumulación de contaminantes y la progresiva colmatación de las superficies permeables sobre la capacidad hidráulica de las mismas y sobre la calidad del agua filtrada e infiltrada.

El montaje experimental planteado en el presente estudio consta de una batería de cuatro infiltrómetros diseñados para evaluar la capacidad hidráulica de una superficie permeable y de la calidad del agua infiltrada, bajo diferentes condiciones climáticas y de configuración del paquete de firme (véase Figura 1). Las condiciones climáticas ensayadas corresponden a dos de los regímenes pluviométricos de España, el atlántico y el mediterráneo. Las lluvias simuladas reproducen el régimen promedio pluviométrico de Valencia y Santander: eventos con un volumen de 16 mm y 30 minutos de duración, con una frecuencia semanal para el clima atlántico y quincenal en el clima mediterráneo. Para simular la lluvia se ha empleado agua desionizada (Conductividad Eléctrica: 21 $\mu\text{S}/\text{cm}$; pH: 6.9). Asimismo, se han ensayado dos configuraciones del paquete de firme: configuración 1 (formada por 1 lámina de geotextil + 25 cm de zahorra drenante caliza + 1 lámina de geotextil + 5 cm de gravilla fina lavada caliza + adoquín de hormigón poroso) y configuración 2 (formada por 1 lámina geotextil + 5 cm de gravilla fina lavada caliza + adoquín de hormigón poroso), con el fin de analizar la influencia de la capa inferior de zahorra.

La influencia de la progresiva colmatación se está estudiando mediante espolvoreo en seco de sedimentos sobre la superficie del adoquín. El material aplicado ha sido recogido en diferentes infraestructuras viales urbanas, en seco mediante barredora mecánica, y facilitada por los servicios de limpieza de la UPV. La dosis aplicada ($5 \text{ g}/\text{m}^2/\text{d}$) ha sido seleccionada de acuerdo con la información proporcionada por los servicios de limpieza (masa recogida, superficie barrida y frecuencia de limpieza) y contrastada con referencias científicas (Vaze et al., 2002). El material empleado se caracteriza por una humedad del 2%, un contenido de materia volátil del 8.2% en peso seco y una composición granulométrica con alta proporción de arenas (gravas: 13.2%; arenas: 85.0%; limos y arcillas: 1.8% en peso seco).



Figura 1 | Imágenes del montaje experimental.

El proyecto se encuentra en fase inicial y los resultados de los primeros meses de ensayos apuntan diferencias evidentes en cuanto al lavado del material que configura el firme. El agua infiltrada se caracteriza por presentar una conductividad eléctrica y un pH elevados (Figura 2). El fuerte incremento del pH que tiene lugar, de 6.9 del agua de lluvia a valores superiores a 10 del agua infiltrada, está relacionado con el lavado del material del adoquín permeable. La composición de éste tiene una alta proporción de cemento, que le confiere una alta basicidad. Los paquetes sometidos al clima atlántico, al tener un régimen pluviométrico más frecuente presentan valores menores para ambas variables físico-químicas, así mismo se puede observar una disminución a lo largo del tiempo transcurrido desde el inicio de los ensayos (enero 2017).

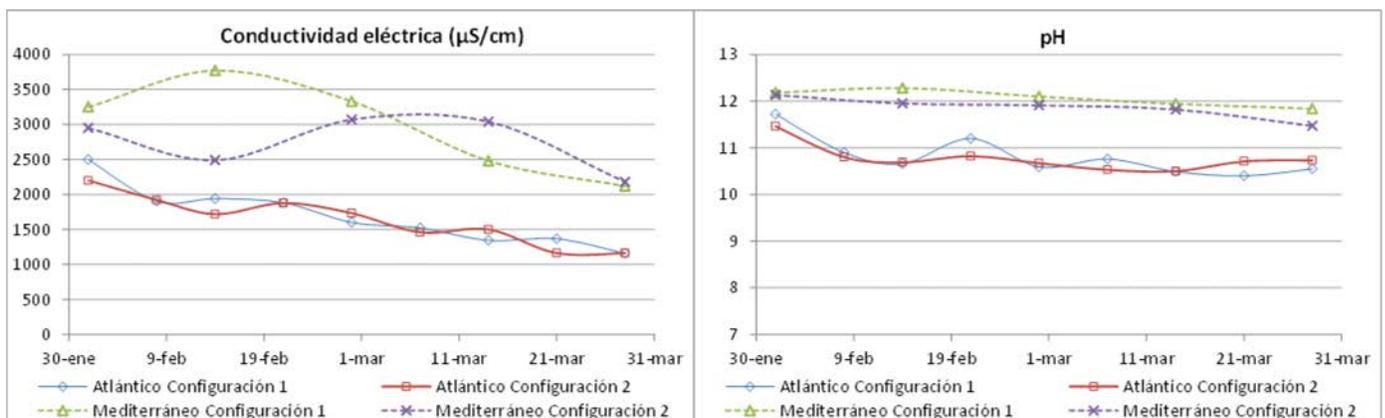


Figura 2 | Evolución de la conductividad eléctrica y el pH en el agua infiltrada desde el inicio de los ensayos hasta la actualidad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolla en el marco de los proyectos SUPRIS-SUReS (Ref. BIA2015-65240-C2-1-R MINECO/FEDER, UE) y SUPRIS-SUPeI (Ref. BIA2015-65240-C2-2-R MINECO/FEDER, UE) financiados por el Ministerio de Economía y Competitividad a través de los Presupuestos Generales del Estado y del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

REFERENCIAS

- Sañudo-Fontaneda, L.A., Rodríguez-Fernández, J., Calzada-Pérez, M.A., Castro-Fresno, D. 2014. Infiltration behaviour of polymer-modified porous concrete and porous asphalt surfaces used in SuDS techniques. *Clean-Soil, Air, Water* 42(2), 139-145.
- Vaze, J., Chiew, F.H.S. 2002. Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface. *Urban Water* 4, 379-389.

Metodología de caracterización del funcionamiento y eficacia de los tanques anti-DSU del sistema de saneamiento del Manzanares (Madrid)

Lastra, A.^{a1}, Pinilla, A.^{a2}, Malgrat, P.^{b1}, Falcó X.^{b2}, Sunyer, D.^{b3}, Abella, J.^{b4}, Suárez, J.^{c1}, Puertas, J.^{c2}, Anta, J.^{c3}, Regueiro-Picallo, M.^{c4}, Recarey, M.^{c5}, Fernández, I.^{c6}

^aCanal Isabel II. E-mail: alastra@canaldeisabelsegunda.es

^bAQUATEC. E-mail: xfalcof@aquatec.es.

^cGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: b1jsuarez@udc.es

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

La mayor parte de los caudales transportados por la red de saneamiento y drenaje urbano de la ciudad de Madrid se articulan a través del eje de saneamiento del Manzanares. En la última década, mediante el "Programa de Mejora de la Calidad del Río Manzanares: Reducción de la contaminación generada por la Descarga de Sistemas Unitarios (DSU)", se estableció un conjunto de actuaciones en la red de saneamiento (tanques de tormenta, nuevos colectores y nuevos aliviaderos al río) para conseguir los objetivos marcados por el Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo. A su vez, la reducción de las presiones sobre el río Manzanares contribuye a que la estrategia "Madrid Río", tenga a su protagonista principal en un mejor estado ecológico.

La gestión de un sistema de esta complejidad no es fácil debido a la interrelación de los diferentes elementos y obviamente esta relación varía si el sistema trabaja en tiempo seco o en tiempo de lluvia, siendo en este último caso el que presenta mayor dificultad y, por tanto, más opciones de mejora. Es debido a esta complejidad que no existía un protocolo centralizado entre los diferentes elementos del sistema.

La problemática de los sistemas de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia tiene tres variables o fenómenos que se combinan y que determinan que el control de la contaminación, y de los impactos sobre el medio receptor, puedan ser mayores:

- La escorrentía superficial lava las calles y tejados y arrastre materiales y contaminación, que puede llegar a ser muy importante, sobre todo en viales con mucho tráfico y después de un periodo de tiempos eco prolongado; también de algunas zonas industriales.
- Los "Desbordamientos de los Sistemas Unitarios", o DSU, que son vertidos a través de aliviaderos de aguas que la red no puede transportar o retener ni mandar hacia la EDAR. Cuando se dispone de elementos de regulación o tanques de tormenta los DSUs se reducen notablemente, aunque es casi imposible que sean cero. En tiempo de lluvia se movilizan los sedimentos y depósitos que se han ido acumulando en los conductos y en los pozos de registro durante el tiempo seco. Se generan flujos mucho más contaminados que las propias aguas residuales que circulan en tiempo seco. Es fundamental retener estas aguas y enviarlas a la EDAR, pero de forma controlada.
- Las depuradoras no pueden recibir cualquier caudal. Los procesos biológicos son muy sensibles a las variaciones de carga y de caudal por lo que no se las puede someter a más de tres veces los caudales medios que reciben en tiempos eco. Si en tiempo de lluvia se superan ciertos límites los procesos se desequilibran y dejan de cumplir sus objetivos, sus rendimientos durante días o semanas.

El sistema Manzanares cuenta con dos colectores que transcurren a ambos lados del Río Manzanares (los denominados colector de margen derecha y colector de margen izquierda) así como una serie de tanques de tormenta que retienen parte de los volúmenes generados durante los eventos de precipitación, para luego enviarlos al sistema de colectores mencionado y a las depuradoras.

El Canal de Isabel II (CYII) puso en marcha el estudio denominado "IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA AVANZADO PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE SANEAMIENTO MANZANARES". Los trabajos a realizar

tienen como fin principal (se están desarrollando en el momento de elaborar este resumen) desarrollar un sistema de gestión integrado de los tanques de tormenta y otros elementos (aliviaderos, cámaras de reparto, EDARs, etc.) que sirva como herramienta para la toma de decisiones de explotación. Las fases más importantes que se están desarrollando para alcanzar los objetivos previstos son:

- a) Recopilación de información y datos; interpretación y revisión del esquema funcional del Sistema Manzanares. Identificación de infraestructuras clave, recopilación de información de detalle, diálogo con las empresas de mantenimiento y explotación, análisis de la instrumentación existente y de los datos que recogen, con el fin de lograr una interpretación inicial de su funcionamiento. Desarrollo de informes específicos de cada tanque de tormenta y de las infraestructuras que lo complementan
- b) Caracterización del funcionamiento y de la eficiencia de infraestructuras clave mediante los datos de la instrumentación existente y de nueva instrumentación del GEAMA-UdC instalada (caudalímetros, limnómetros, sistemas de toma de muestras, ...) y desarrollo de campañas de seguimiento durante varios meses. Durante las campañas de caracterización se toman muestras de los flujos de aguas residuales tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia, tanto en colectores y aliviaderos como en el interior de los tanques de tormenta. Se busca disponer de hidrogramas y de polutogramas que describen la variación de la contaminación en el tiempo; esta es una de las características importantes de los flujos en tiempo de lluvia. En los protocolos de muestreo se definen los escenarios de lluvia a muestrear, el número de muestras por episodio y sección de control, qué parámetros es necesario medir, etc.). Se han caracterizado una media de 5 eventos de lluvia por tanque. Parámetros de contaminación medidos: DBO₅, DBO_u, DQO total y disuelta, sólidos (ST, SS, SD, SSV), sólidos sedimentables, Ntotal, Ptotal, nitrógeno amoniacal, conductividad, turbidez y pH.
- c) Modelización numérica del funcionamiento del sistema de saneamiento teniendo en cuenta las presiones y posibles impactos sobre el medio receptor en función de diferentes escenarios de gestión de los tanques de tormenta, proponiendo las estrategias de gestión que mejorasen el funcionamiento del sistema de saneamiento y minimicen los impactos. Finalmente se propondrá un protocolo de gestión coordinada de los tanques y EDARs que incorpore las mejoras en la gestión descritas anteriormente.

Resultados que se obtendrán::

- Completa caracterización de flujos en tiempo seco y en tiempo de lluvia tanto en colectores como en depósitos y DSU, hacia el río Manzanares desde las infraestructuras clave del sistema.
- Desarrollo de un sistema de gestión integrado de los tanques de tormenta y otros elementos que servirá como herramienta para la toma de decisiones del Canal Isabel II.
- Redacción de un protocolo de gestión de los diferentes actuadores que conforman el sistema.

REFERENCIAS

- Anta, J., Bermúdez, M., Cea, L., Suárez, J., Ures, P., Puertas, J. 2015. *Modelización de los impactos por DSU en el río Miño (Lugo). Ingeniería del agua. ISSN: 1134-2196*. Editorial: Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua. Valencia.
- Suárez, J., Puertas, J. 2005. *Determination of COD, BOD, and suspended solids loads during CSO events in some combined cathments in Spain. Ecological Engineering*. Vol. 24, Pags. 199-217. Elsevier.
- MAGRAMA. 2014. *Manual nacional de recomendaciones para el diseño de tanques de tormenta*. Equipo de redacción: Aqualogy: Comas, P.; Falcó, X.; García, J.; Malgrat, P.; Sunyer, D.; Villanueva, A. GEAMA-UdC: Anta, J.; Puertas, J.; Suárez, J. Septiembre de 2014. 181 pags. Editor: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España.

Proyecto de Restauración fluvial mediante infraestructura verde en el río Ucero (Soria). Plan PIMA Adapta

López Argüeso, R.^a, Martínez Revilla, V.^b Asenjo Maderuelo, J.^c Anguiano Pérez, P.^d

^aJefe del Área de Asistencia Técnica y Programación de la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD) (c/Muro, 5 - 47004 Valladolid - rla@chduero.es).

^bJefe de Servicio de Aguas Subterráneas de la CHD (Avda. Reyes Católicos, 22 - 09005 Burgos - vmr@chduero.es).

^cJefe de Sección de Gestión del DPH de la CHD (Avda. Reyes Católicos, 22 - 09005 Burgos - amj@chduero.es).

^dJefe de grupo de obras en TRAGSA (Avda. Duques de Soria, 5-Entresuelo C - 42003 Soria - panguian@tragsa.es).

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

El Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España (Plan PIMA Adapta), que promueve el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente desde el año 2015, tiene como objetivo desarrollar actuaciones que incrementen el conocimiento de los impactos del cambio climático, así como los riesgos y la vulnerabilidad del ecosistema para el diseño de proyectos. Una de las actuaciones incluidas en el citado Plan es el Proyecto de Restauración fluvial mediante infraestructura verde en el río Ucero (Soria).

El río Ucero atraviesa de norte a sur la comarca del Burgo de Osma, ya que nace al pie de la Cueva de “La Galiana”, donde finaliza el Cañón del Río Lobos, y serpentea hasta desembocar por la margen derecha del río Duero, 9 kilómetros al Sur del Burgo de Osma. En sus 31 km de recorrido es flanqueado por tierras de labor, plantaciones productivas de chopo, algunos tramos de monte bajo y pequeñas poblaciones que al aprovechar los recursos asociados a esta corriente, han alterado sustancialmente su dinámica fluvial y en consecuencia su estado ecológico. Las modificaciones más intensas tuvieron lugar en la década de los 70, cuando se llevó a cabo el dragado del lecho y la eliminación de los meandros, empleando el material procedente de la excavación para la construcción de motas paralelas al eje del cauce.

Para el correcto estudio de la situación de partida se analizó con detalle la variación del trazado en planta del eje del río, considerando las fotografías aéreas de 1956 y ortofotos de 2006, georreferenciadas las primeras para su comparación analítica. Por otro lado, se llevó a cabo la comparativa de la cartografía geológica y fisiográfica existente así como la inclusión de parámetros hidráulicos y morfológicos (llanura de inundación de Rosgen) y la zona de flujo preferente.

Asimismo se tuvo en cuenta que el río Ucero cuenta con infraestructuras para la derivación y distribución de agua, que tienen como uso principal el abastecimiento de los núcleos de población cercanos y el riego de las tierras de cultivo. Estas estructuras transversales al cauce acentúan la sedimentación de los materiales transportados por el río aguas arriba de las barreras, llegando a colmatar dichos diques y modificando el régimen de velocidades el agua. Tales depósitos de sedimentos provocan la pérdida de capacidad de desagüe del cauce dominante (bankfull), lo que determina la pérdida de capacidad de éste para disipar energía en los episodios torrentes. A lo largo del cauce existen una serie de azudes que, entre otras afecciones, suponen un obstáculo en ocasiones insalvable para el desplazamiento de las especies piscícolas presentes en el río (pérdida de conectividad longitudinal).

Como consecuencia de los datos obtenidos en el trabajo previo se consideró imprescindible realizar las actuaciones que se indican a continuación:

Mejora de los procesos que constituyen la dinámica fluvial

- **Retirada de las motas laterales** existentes en ambas márgenes del río Ucero, llevando a cabo la remoción y extendido del terreno para permitir movilidad lateral natural a la corriente. El material retirado de las motas (24.000 m³) se extendió sobre pequeñas depresiones del terreno de la ribera, en las que se producían encharcamientos frecuentes y de larga duración.

- **Tratamiento de la vegetación riparia** sobre 40.000 m², consistente en el desbroce selectivo de aquellas especies de carácter invasor, así como los ejemplares dañados, enfermos o secos con objeto de sanear la masa.

Recuperación de la continuidad del sistema fluvial

- **Adecuación del azud de la Güera para el paso de peces** mediante la construcción de una escala.
- **Acondicionamiento de frezaderos** que favorezcan el desarrollo de comunidades de macroinvertebrados que como consecuencia de la compactación del lecho no disponen de un hábitat apropiado.
- **Plantación de 1.400 ejemplares de especies autóctonas** según diferentes módulos de plantación, alternando especies arbustivas y arbóreas de diferente porte (Alisos, Fresnos, Majuelos, Nogales, Sauces, etc.).

Respuesta a las demandas sociales

- Acondicionamiento de una **senda fluvial peatonal de 19 kms** dotada de áreas de descanso y cartelería temática. La senda conecta la población de Uceró con El Burgo de Osma, discurriendo alternativamente por cada una de las márgenes del río Uceró. Además, se ha llevado a cabo un enlace con la senda del Cañón del Río Lobos.

AGRADECIMIENTOS

La Confederación Hidrográfica del Duero ha sido la encargada de desarrollar esta actuación, promovida por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente a través del Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España (Plan PIMA Adapta). El citado Plan, que se inició el año 2015, incluye entre las actuaciones a realizar durante el año 2017 el ***“Proyecto de restauración fluvial mediante infraestructura verde en el río Uceró Segunda fase. Plan PIMA Adapta”***.

Gestión y usos del agua en la planificación hidrológica en las cuencas internacionales de los ríos Miño y Limia

Francisco Marín Muñoz

Confederación Hidrográfica del Miño-Sil. C/ Curros Enríquez, nº 4 - 2º 32003 Ourense. E-mail: presidente@chminosil.es

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Aparte de las características propias de toda cuenca hidrográfica, las de los ríos Miño y Limia tienen una muy destacable, su internacionalidad, por lo que se hace especial hincapié en ella y en el convenio de Albufeira, que les afecta.

Se especifican aportaciones y principales usos del agua, con especial incidencia en el aprovechamiento hidroeléctrico, característico de estas cuencas. Se van detallando las principales presiones a las que están sometidas: contaminación difusa, minería (pizarra, carbón y piedra), barreras (3.200 azudes) y atomización de la población (más de 11.000 núcleos).

También se destina un apartado a la gestión de riesgos de inundación.

Se remata abordando el programa de medidas encaminadas a la satisfacción de demandas, la gobernanza y los objetivos medioambientales más importantes, retos a largo plazo (implantación de caudal ecológico, tasas de cambio,...).

Estudio numérico-experimental de la estabilidad de vehículos ante inundaciones

Martínez-Gomariz, E.^{a1}, Gómez, M.^{a2}, Russo, B.^b

^aInstituto Flumen. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de Catalunya. Jordi Girona 1-3. D1. 08034 Barcelona. E-mail: ^{a1}eduardo.martinez-gomariz@upc.edu, ^{a2}manuel.gomez@upc.edu.

^bGrupo de Investigación de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA). Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia. Universidad de Zaragoza. Mayor 5, 50100 La Almunia de Doña Godina, Zaragoza. E-mail: ^bbrusso@unizar.es

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Las consecuencias de una inundación en medio urbano pueden ser principalmente sobre edificios, personas o vehículos localizados en la ciudad. El mayor interés se ha prestado en los daños sobre edificios, en función de los niveles de inundación y sobre las personas que pueden ser arrastradas por el flujo en la calle (Russo et al, 2013a; 2013b), pero el tercer componente referido a los problemas de los vehículos en medio urbano, ha recibido mucha menos atención. Los vehículos estacionados o en movimiento pueden ser arrastrados si se dan las condiciones de nivel de agua y velocidad adecuadas.

Los mecanismos de inestabilidad de un vehículo pueden ser dos: uno debido a la flotabilidad del coche, si el nivel de agua es suficiente y a bajas o nula velocidad; el otro sería cuando la combinación de calado y velocidad ejerza una fuerza de arrastre suficiente para vencer la fuerza de rozamiento derivada del peso propio y el contacto rueda / pavimento. El balance entre las fuerzas actuantes es conocido, si bien la evaluación de la fuerza de arrastre depende de una serie de coeficientes que son específicos para cada modelo de vehículo y no se conocen a priori.

Para definir las condiciones de inestabilidad, se diseñó una campaña experimental en laboratorio, donde se ensayaron 12 modelos de coches, escalas 1:14 a 1:18. Un modelo, Mini Cooper, se ensayó a 3 escalas diferentes, 1:24, 1:18 y 1:14 para verificar la ausencia de efectos de escala en los resultados. Se impuso semejanza de Froude en el estudio, lo que obligó a ajustar de manera estricta el peso del modelo, añadiendo a veces piezas metálicas para cumplir la semejanza. También para evitar la entrada de agua en el coche durante los ensayos, se sellaron las partes bajas con espuma de poliuretano, y se comprobó el peso antes y después de los ensayos.

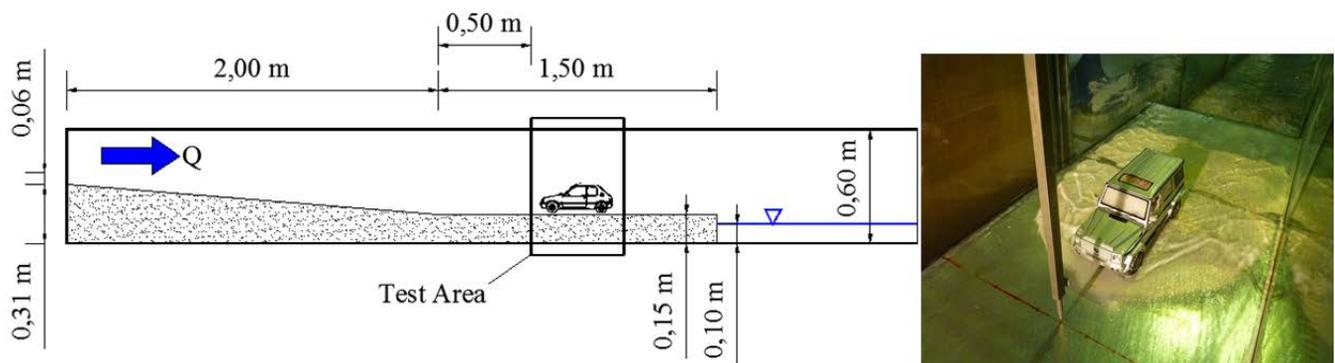


Figura 1 | Dispositivo experimental.

Los resultados del ensayo permiten definir para cada modelo unos límites de estabilidad, incluyendo el nivel de agua de flotabilidad del vehículo y una curva $v \cdot y = a$, donde cada modelo tiene un valor de "a" propio. Como era de esperar, modelos de menor peso y altura presentan condiciones de estabilidad menores que otros modelos, de mayor peso y altura libre desde el suelo hasta la base del habitáculo del coche.

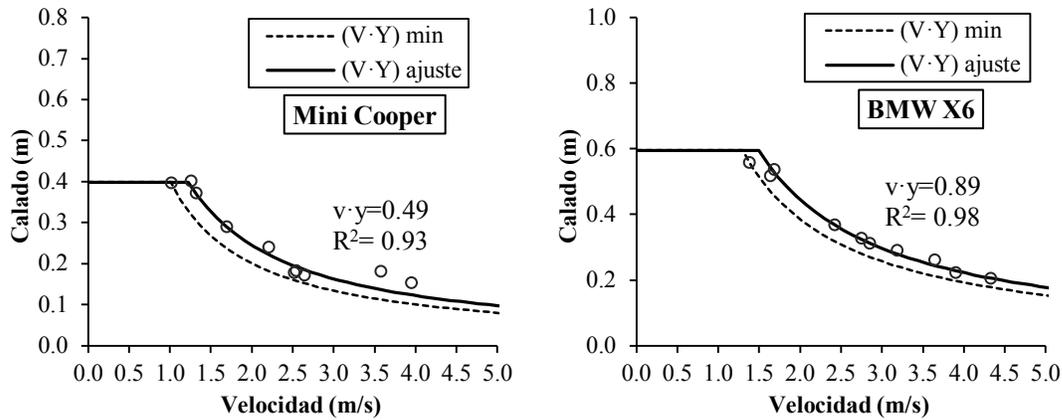


Figura 2 | Curva de estabilidad ajustada a partir de los ensayos de laboratorio para el Mini Cooper y el BMW X6.

Para poder extender la metodología propuesta a otros modelos no ensayados, se propone un índice de estabilidad modificado, que incluya parámetros como el área en planta del coche, su peso en vacío, la altura libre desde el suelo al vehículo y el coeficiente de rozamiento rueda/pavimento. Como este valor dependerá del estado de conservación del vial, se propone, de acuerdo con la experiencia de otros autores, un rango de valores entre 0.25 y 0.75 con lo que se puede particularizar para distintos vehículos y distintos viales de diferente grado de conservación. De manera adicional se realizaron simulaciones con un código 3D para reproducir los experimentos y poder analizar condiciones de flujo que no se podían alcanzar en laboratorio. El código Flow3D dio buenos resultados, reproduciendo los datos observados y permitió verificar las condiciones de estabilidad en situaciones de calado y caudal diferentes a las ensayadas en laboratorio, lo que confirma su utilidad como laboratorio virtual en este caso.

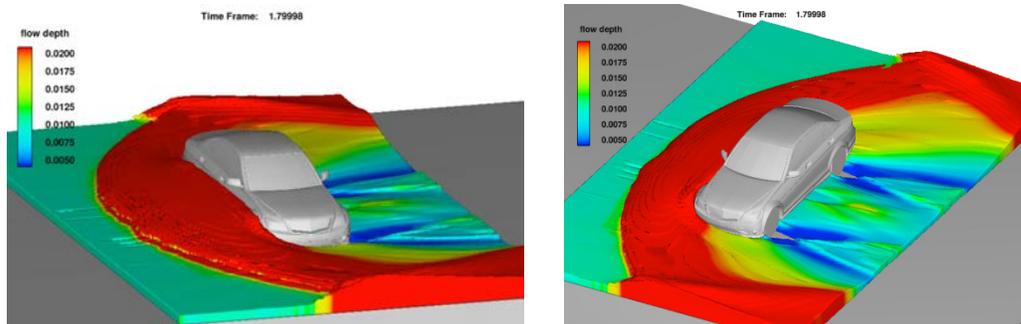


Figura 3 | Modelación tridimensional del modelo Mercedes Clase C.

REFERENCIAS

- Martínez Gomariz, E. (2016). Inundaciones urbanas: criterios de peligrosidad y evaluación del riesgo para peatones y vehículos. Tesis Doctoral. UPC. Barcelona
- Russo, B., Velasco, M., and Suñer, D. (2013a). Flood hazard assessment considering climate change impacts-Application to Barcelona case study using a 1D/2D detailed coupled model. In: International Conference on Flood Resilience: Experiences in Asia and Europe, Exeter, United Kingdom, 10.
- Russo, B., Gómez, M. and Macchione, F. (2013b). Pedestrian hazard criteria for flooded urban areas. *Natural Hazards*, 69 (1), 251–265.

Estudio da consecución dun obxectivo planificado de saneamento na actuación realizada no “Saco de Fefiñáns” en Cambados (Pontevedra).

Núñez, P.

Encomienda en el Departamento Técnico de Aguas de Galicia. Xestión do Solo de Galicia – Xestur. Email: pablo.nunez.otero@xesturgalicia.com

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

1. Objeto del trabajo:

El estudio que se propone tiene por objeto presentar un caso práctico de subsanación en los problemas de saneamiento en una zona localizada, desde su análisis técnico, estudio, alternativas, soluciones, ejecución a nivel constructivo, tramitación y coordinación de distintas administraciones.

En este sentido se puede comparar el estado inicial en la zona de actuación, la eliminación de vertidos y los resultados finales en fase de explotación. Obteniendo los resultados reales, una vez las medidas correctoras han sido implementadas, y sus datos teóricos de partida que sirvieron para el diseño de dichas medidas.

2. Localización:

La actuación llevada a cabo se enmarca en Cambados, localidad de la comarca de “O Salnes” y bañada por la Ría de Arousa. Esta localidad está integrada dentro de la actuación: “Realización del Plan de Saneamiento Local de la ría de Arousa. Margen Izquierdo. Ayuntamientos de Vilanova de Arousa, Cambados y la Illa de Arousa” (expediente OH.336.944.SV).



3. Problemática:

Durante la elaboración del Plan de Saneamiento Local de Cambados, se ha observado que uno de los puntos más conflictivos identificados a nivel de vertidos, tiene lugar en la zona denominada “Saco de Fefiñáns”, en la parroquia de San Amedio de Corvillón término municipal de Cambados).

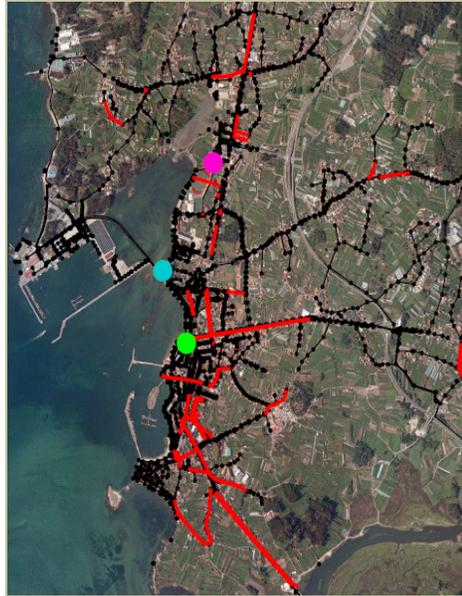
La red actual de saneamiento en el entorno del Saco de Fefiñáns se estructura en torno a un eje principal constituido por la Avenida de Vilagarcía (carretera PO – 549) siendo el punto más conflictivo el paso del río Corvillón (que en este tramo se encuentra encauzado en un tubo de hormigón) bajo la rasante de dicha carretera a través de una bóveda de hormigón. El paso de este río constituye una especie de “efecto barrera” que rompe la continuidad de la red de saneamiento haciendo difícil la recogida por gravedad de todas las aguas residuales generadas y conducir las a la EDAR de Tragove. Por este motivo, a lo largo

del tiempo y con el desarrollo urbano del núcleo de Cambados, se han ido estableciendo diversos puntos de vertidos domiciliarios tanto en el río Corvillón (que los termina llevando al Saco de Fefiñans, en el cual desemboca) como directamente al propio Saco.

Dentro de los datos de partida se dispone de 19 puntos de vertido inventariados con sus correspondientes analíticas para su posterior comparación con el resultado obtenido después de ejecutar las obras de saneamiento.

4. Soluciones:

Se plantea una solución ampliando y dotando de mayor operatividad la red de saneamiento. Se incorpora un depósito de retención con su correspondiente bombeo e impulsión, que sirve como regulador del sistema, y dos bombeos adicionales.



5. Conclusiones:

Nos encontramos ante una actuación que posibilita el estudio detallado del cumplimiento de los objetivos de diseño dentro de una planificación previa. Se dispone de los datos para contrastar una situación inicial con 19 puntos de vertidos inventariados y sus analíticas, con una situación final, sus analíticas y los datos de explotación (número de aliviós, caudal tratado, etc.). Así mismo se comprobará la eficiencia, a un nivel más teórico, de las hipótesis de partida y los parámetros de diseño empleados con su implementación real.

Nuevas implementaciones en Iber para el cálculo de inundaciones en núcleos costeros con tramos de río entubados

Pereira, C.^a, Cea, L.^b y Sopelana, J.^c

^aAquática Ingeniería. Areal 42, 2ºD 36201 VIGO
crisobalpereira@outlook.com

^bGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña.
luis.cea@udc.es

^cAquática Ingeniería. Areal 42, 2ºD 36201 VIGO
jsopelana@aquaticaingenieria.com

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Una problemática habitual de cara a evaluar la peligrosidad por inundación en núcleos costeros es la presencia de tramos de río entubados que discurren bajo una zona urbana antes de desembocar al mar. Esta es una forma habitual de ganar terreno urbanizable, pero que elimina completamente las llanuras de inundación y reduce de forma drástica la capacidad de drenaje del cauce principal. En dichos tramos todo el caudal del río debe pasar a través de una sección cerrada cuyas dimensiones son en general demasiado pequeñas como para permitir el desagüe de todo el caudal del río en condiciones de avenida. Ello provoca, para caudales elevados, la entrada en carga del tramo entubado y un incremento importante de las cotas de inundación aguas arriba del tramo, con la consiguiente inundación del núcleo urbano. Además, estos efectos se pueden ver potenciados por el efecto de la marea en núcleos costeros como los del norte de España, donde la carrera de marea puede alcanzar los 4.50 metros.

La incorporación de este tipo de entubamientos en modelos numéricos bidimensionales para el cálculo de zonas inundables es fundamental para obtener resultados realistas, ya que la extensión de la zona inundada y los calados máximos alcanzados van a estar muy condicionados por la capacidad de desagüe del tramo entubado. A su vez su modelización no es trivial, ya que el flujo dentro del entubamiento puede ser en lámina libre, en presión o mixto. Asimismo, pueden producirse condiciones de flujo en las cuales el caudal entrante esté condicionado únicamente por la carga hidráulica aguas arriba (control de entrada) o también por las condiciones de flujo aguas abajo (control de salida). Además, con pendientes de fondo pronunciadas pueden llegar a producirse resaltos hidráulicos dentro de la zona entubada. En zonas costeras el flujo puede producirse en ambos sentidos debido al efecto de la marea. Por último, el acoplamiento entre el tramo entubado y el modelo 2D de flujo en superficie debe realizarse de forma adecuada para no condicionar la capacidad de transferencia de caudal. Por todo ello, es importante disponer de herramientas precisas y robustas para la modelización del efecto de este tipo de estructuras hidráulicas en la peligrosidad de inundación.

En este artículo se presentan y comparan diversas mejoras de diferente grado de complejidad que permiten introducir el efecto de zonas entubadas en el modelo numérico de flujo en lámina libre Iber (Bladé et al., 2014) y analizar el efecto de la variación de nivel aguas abajo por efecto de la marea. La versión actual de Iber (Iber 2.4.2) introduce una herramienta llamada *alcantarilla* (o *culvert* en inglés) que calcula el caudal a través de este tipo de estructura en función del gradiente de carga hidráulica a través de ella, calculado como la diferencia de carga hidráulica entre las secciones de entrada y salida dividida por la longitud de la alcantarilla, de la forma y área de la sección y del coeficiente de Manning, asumiendo condiciones de régimen uniforme. Actualmente se consideran secciones con forma rectangular o circular. Esta implementación es válida cuando la longitud del entubamiento es corta (de forma que el tiempo de tránsito a través de la alcantarilla es despreciable), el flujo en el interior es relativamente uniforme y el caudal desaguado no está limitado por la geometría de la sección de entrada (control de entrada). Su aplicación a entubamientos largos, con condiciones de flujo no uniforme, o en los que se produce control de entrada puede producir resultados poco precisos, calculándose capacidades de desagüe que pueden ser mayores a las que realmente se producen.

Entre las mejoras introducidas se encuentra la incorporación de: 1) nuevas formas de sección, incluida una sección genérica a definir por el usuario; 2) una sección con Manning variable; 3) control de entrada en función de las condiciones del flujo a la entrada y salida del entubamiento; 4) el cálculo del flujo en el interior del tramo entubado mediante un modelo 1D no estacionario que considera tanto flujo en presión como en lámina libre; 5) confluencias de varios tramos entubados.

Se presentan asimismo la verificación de estas nuevas implementaciones en 2 casos test. En el primer caso test se analiza un canal rectilíneo con llanuras de inundación, cuya sección y pendiente son uniformes. El tramo final del canal se encuentra entubado antes de desembocar en el mar. Se analiza el funcionamiento hidráulico con diferentes condiciones de marea y diversas secciones de entubamiento, y se comparan los resultados obtenidos con las metodologías mencionadas.

En el segundo caso test se analiza el núcleo urbano costero de Moaña bajo el cual se encuentran entubados los últimos 425 metros del río Seara. En el tramo previo al entubamiento se observa una sección trapezoidal con taludes de escollera y presencia de vegetación. La entrada del entubamiento se resuelve mediante una sección rectangular mientras que la salida al mar presenta aletas laterales de hormigón y una relación alto/ancho de 1: 2 aproximadamente.

REFERENCIAS

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A. 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* 30(1), 1-10

La rehabilitación fluvial en el ámbito urbano. Estudio de caso: el río Sar (Galicia, NO Península Ibérica)

Piñeiro, R.^a, Horacio, J.^b y Álvarez-Campana, J.M.^c

^aÁrea de calidad de las aguas, Augas de Galicia, Plaza de Camilo Díaz Valiño 7/9, 15704, Santiago de Compostela, raquel.pineiro.rebolo@xunta.gal. ^bLaboratorio de Tecnología Ambiental. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Vida s/n, 15782, horacio.garcia@usc.es. ^cETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, Universidade da Coruña, j.alvarez-campana@udc.es.

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

La urbanización del territorio es un proceso en crecimiento con consecuencias sobre los sistemas fluviales. En la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa la urbanización ha dado lugar a ríos sometidos a diferentes intervenciones, pero poco se ha estudiado su repercusión sobre los sistemas fluviales y las posibilidades que existen para su recuperación. El presente estudio se centra en el caso del río Sar para conocer cómo ha influido la urbanización de los núcleos de Santiago de Compostela, Ames y Padrón en la calidad ecológica del río, pero también qué opciones existen para una rehabilitación. En el desarrollo del trabajo se aborda el diagnóstico ecológico del río Sar a través del análisis de su calidad fisicoquímica, hidrogeomorfológica y biológica, relacionando los impactos detectados con las causas de la degradación. Los resultados muestran que existe una afección sobre diversos ámbitos de la calidad fluvial a su paso por las zonas urbanizadas de la cuenca, en particular sobre la calidad fisicoquímica del agua y sobre aspectos hidrogeomorfológicos (anchura, estructura y naturalidad de las riberas, naturalidad de las márgenes de los cauces y de su movilidad lateral, y funcionalidad de la llanura de inundación). La alteración de la calidad biológica se asocia con el deterioro del resto de elementos fluviales. Se identifican como fuentes de alteración la propia ocupación física del suelo y su transformación en superficie impermeable, y las intervenciones directas sobre el cauce (presencia de elementos físicos y prácticas como rectificaciones, desvíos y vertidos). Aunque existen limitaciones que condicionan la rehabilitación, como la presencia de infraestructuras y la necesidad de mantener la capacidad de evacuación, hay margen para la mejora.

Se realizan diversas propuestas de rehabilitación que se enfocan, en primer lugar, hacia el origen de la degradación. Esto supone actuar sobre la propia superficie urbana, permeabilizándola y gestionando de forma sostenible las aguas de escorrentía. En segundo lugar, se actúa sobre las intervenciones directas, intentando eliminarlas o alejarlas del cauce. Cuando ello no es posible se proponen medidas para naturalizar el cauce y sus márgenes. Se identifican también necesidades y desafíos que se transforman en oportunidades para trabajos futuros: (i) integración de conocimientos técnicos para mejorar el diagnóstico de los sistemas fluviales en el ámbito urbano, (ii) trabajo coordinado de las administraciones bajo el propósito común de recuperación de los ecosistemas acuáticos; y (ii) participación e implicación de la ciudadanía, lo que introduce la consideración de aspectos históricos, culturales y sociales.

Actuación de los “Interceptores generales de la margen derecha de la ría de Ferrol”

Piñeiro, J.^{a1}

^a Sociedad Mercantil Estatal Aguas de las Cuencas de España, S.A. (ACUAES), Calle Agustín de Betancourt, 25- 4ª planta. 28003 Madrid. E-mail: ^{a1}jose.pineiro@acuaes.com.

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Hasta hace poco, la ría de Ferrol vivía una delicada situación medioambiental marcada por la fuerte degradación de su entorno marino, como consecuencia principalmente del mal estado que presentaba la red de infraestructuras de saneamiento de su margen derecha, en la que se sitúan las aglomeraciones urbanas de las ciudades de Ferrol y Narón y cuyo interceptor general, construido en los años noventa del siglo pasado, se encontraba fuera de servicio permitiendo el vertido directo a la ría de todas las redes de alcantarillado de este área. A ello se unía el problema de carecer de cualquier tipo de estructura de regulación que permita gestionar correctamente las aguas de escorrentía en tiempo de lluvia, cargadas de agentes contaminantes tras discurrir por la zona urbana.

Todas estas carencias y problemas, unidos a la necesidad de alcanzar unos objetivos de calidad cada vez más rigurosos en la legislación vigente, motivó la declaración como obra de interés general de la “Conducción de aguas residuales, depuración y vertido de Ferrol”, a través de las leyes 22/1997 y 10/2001 de 5 de julio del Plan Hidrológico Nacional.

En base a esta declaración, se comenzaron a construir la nueva EDAR y el emisario submarino de Cabo Prioriño, junto con el emisario terrestre y la estación de bombeo que permitiría transportar las aguas residuales de estas dos ciudades desde la Ensenada de A Malata hasta la nueva depuradora, ubicada en la bocana de la ría.

Sin embargo, aunque estas obras se finalizaron en 2010, su puesta en servicio se ha visto limitada por la necesidad de llevar a cabo el acondicionamiento previo del interceptor general de la margen derecha de la ría, construido en los años noventa, y por la necesidad de construir un nuevo sistema de infraestructuras de regulación (tanques de tormenta) que permitiesen gestionar los grandes volúmenes de agua contaminada que se generan en tiempo de lluvia. Todo ello, con el único objetivo que en la ría de Ferrol se puedan cumplir los estándares de calidad del medio marino fijados por la legislación vigente

Con esta finalidad, y en virtud de lo establecido en el Convenio de Gestión Directa de la Sociedad Estatal Aguas de las Cuencas del Norte, aprobado por Consejo de Ministros de 29 de noviembre de 2011, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (actualmente Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente), encomendó a la Sociedad Estatal Aguas de las Cuencas del Norte (actualmente S.M.E. Aguas de las Cuencas de España), el desarrollo de la actuación de los *Interceptores generales de la margen derecha de la ría de Ferrol*, cuya ejecución se ha llevado a cabo en cinco grandes obras: Tramo A Malata – A Gándara, Tramo A Gándara- Cadaval, Estación de regulación de O Porto, Tramo río Inxerto, Tramo Cadaval-Neda. Las cinco obras proyectadas como parte de esta actuación representan una inversión total de 54,3 millones de euros que han sido cofinanciados por el Ministerio de Agricultura, a través de Acuaes y el Fondo FEDER de la UE, la Xunta de Galicia y los Concellos de Ferrol y Narón.

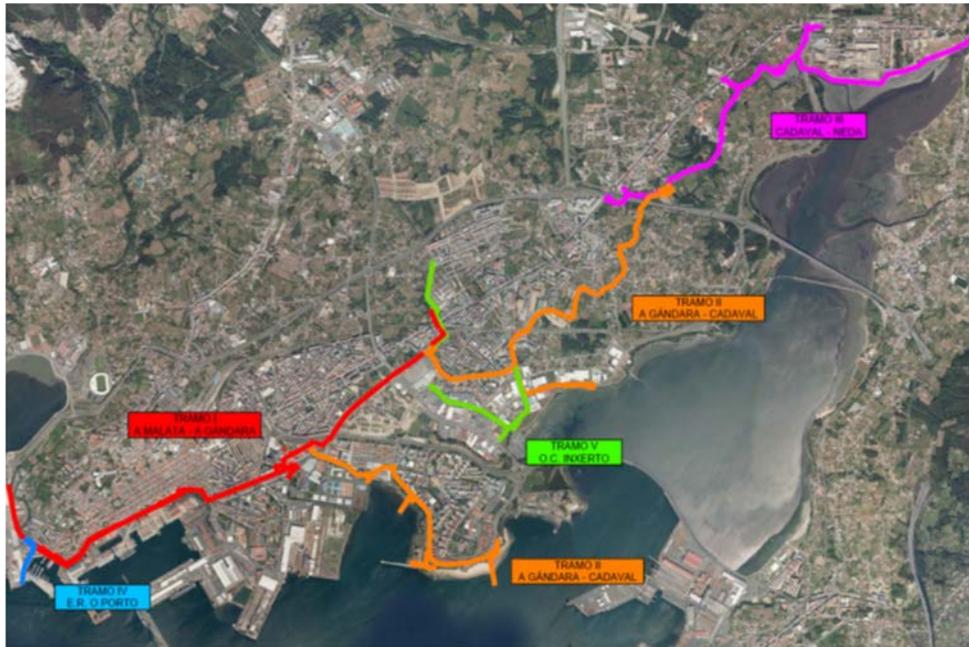


Figura 1 | Esquema general de la actuación de los Interceptores generales de la margen derecha de la ría de Ferrol

Este nuevo sistema de saneamiento está formado por una red de 25,4 km de colectores, once tanques de tormentas y una estación de regulación de caudal, con una capacidad de almacenamiento total en tiempo de lluvia de 30.060 m³. Dentro de este sistema existen tanques de tormentas de capacidades muy diferentes, desde los 200 m³ hasta los 11.000 m³ del tanque de Cadaval, en función no sólo de las características de cada cuenca y su interrelación con la red de colectores, sino también en función de su disposición en serie o en paralelo.

El criterio de diseño adoptado para el nuevo sistema ha sido un dimensionamiento de nivel N4 (según la clasificación recogida en el Manual Nacional de Recomendaciones para el Diseño de Tanques de Tormenta), basado en la modelización hidrológica/hidráulica y de la contaminación en régimen no permanente en el medio receptor, para el que se establece un límite umbral de superación de coliformes fecales con un valor de 100 ufc/100 ml durante el 90% de un año medio en diferentes zonas sensibles de la ría. Para ello se han utilizado el programa Infoworks CS, para el cálculo de la red de saneamiento, y el modelo Iber WQ, para la modelización de la ría.

En cuanto al tipo de tanque de tormenta adoptado, se ha optado por un depósito de retención en línea de cámara única con sistema de autolimpieza mediante limpiadores basculantes, una cámara de trituración con bypass, una cámara de tranquilización y una cámara de bombeo, cuya capacidad se ha dimensionado para poder bombear cinco veces el caudal medio de la cuenca. Además a ello se añade una cámara de alivio con tamicés autolimpiables, junto con un edificio de explotación de aproximadamente 200 m², en el que se sitúa el acceso a las cámaras húmedas y una sala seca en la que se sitúan las instalaciones de suministro eléctrico y cuadros de control y mando de los equipos electromecánicos, incluyendo el sistema de desodorización por ionización. Todo el sistema cuenta con un sistema de telecontrol y operación plenamente automatizado.

Otros aspectos singulares de la ejecución de esta actuación ha sido su inevitable adaptación a un entorno urbano sumamente consolidado, que además de condicionar la integración paisajística de los edificios de explotación de los diferentes tanques de tormentas, ha obligado a optar por diferentes soluciones para la rehabilitación de tuberías existentes, y a compatibilizar la construcción de las nuevas infraestructuras con la protección del patrimonio cultural de una ciudad cuya trama urbana data del siglo XVIII.

Análisis de actuaciones en las cuencas del Sur del Mar Menor con el objetivo de reducir el aporte de sedimentos y compuestos nitrogenados a la laguna

Puertes, C.^{a1}, Bautista, I.^{a2}, Lidón, A.^{a3} y Francés, F.^{a4}

^aInstituto Universitario de Investigación en Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València:
^{a1}cripueca@cam.upv.es, ^{a2}ibautista@qim.upv.es, ^{a3}alidon@qim.upv.es, ^{a4}ffrances@hma.upv.es.

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

El Mar Menor, con 135 km², es la mayor laguna costera hipersalina de Europa. Las características de estas masas de agua someras, las convierten en uno de los ambientes más productivos del planeta desde el punto de vista biológico. El Mar Menor alberga una gran diversidad de ecosistemas, pero además tiene un importante valor socio-económico debido a las diversas actividades humanas que en él se desarrollan. Sin embargo, la intensificación agrícola y el gran desarrollo urbano que se ha llevado a cabo durante las últimas décadas en su cuenca vertiente, están poniendo en riesgo sus características y las especies que lo habitan (Pérez-Ruzafa et al., 2009; León y Bellido, 2016).

La cuenca vertiente al Mar Menor, está compuesta por más de 20 ríos efímeros. La contaminación producida en el Mar Menor debida a la explotación de éstas se puede dividir en dos tipos: descargas de estériles mineros, provenientes de la Sierra Minera de la Unión y descarga de compuestos orgánicos e inorgánicos derivados del uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes, con procedencia en el Campo de Cartagena (Martínez, 2007). Entre estas ramblas destaca la rambla del Albuñón, cuyo régimen ha cambiado durante las últimas décadas y mantiene un flujo regular de agua debido a que la intensificación agrícola ha producido un aumento de los niveles de las aguas subterráneas, y a los vertidos incontrolados de aguas residuales (Pérez-Ruzafa y Marcos, 2016). En este trabajo se ha estudiado la contaminación por compuestos nitrogenados y sedimentos proveniente del Campo de Cartagena, en concreto de las cuencas situadas al sur de la rambla del Albuñón, debido a que, durante el último periodo de precipitaciones intensas de diciembre de 2016, se observó que el aporte más importante de sedimentos se realiza desde éstas.

En la zona de estudio destaca el uso agrícola de regadío con una superficie aproximada de 47 km². Los efectos más importantes de esta agricultura intensiva en la laguna del Mar Menor son: el incremento de los niveles de las aguas subterráneas, la afección por contaminantes orgánicos e inorgánicos, destacando la contaminación por nitratos (Moreno-González et al., 2013), así como los grandes aportes de sedimentos debidos a regímenes de precipitaciones intensas. Respecto a este último cabe destacar que los terrenos agrícolas no presentan medidas de protección contra la erosión, además de no emplear prácticas de conservación de suelo, lo que provoca que los procesos de transporte y erosión sean muy importantes durante los periodos de precipitaciones. En cuanto a los nitratos, el aporte más importante se produce desde las aguas subterráneas. El sistema hidrogeológico del Campo de Cartagena es un sistema multicapa constituido por tres acuíferos confinados profundos y un acuífero libre superficial. Este último está escasamente explotado debido a los altos niveles de contaminación procedentes de los retornos de riego, en cambio, es el único conectado con la laguna y, por lo tanto, constituye la mayor fuente de contaminación por nitratos (Aragón et al., 2009).

El objetivo de este estudio es analizar la eficiencia de las medidas propuestas por la administración que buscan reducir el aporte tanto de compuestos nitrogenados como de sedimentos a la laguna del Mar Menor. Entre estas medidas destacan la creación de humedales artificiales, actuaciones en el paisaje agrícola, la reducción de la cantidad de fertilizantes nitrogenados empleada, y el empleo de buenas prácticas de conservación que reducen la erosión y, en consecuencia, el aporte de compuestos nitrogenados que son transportados en superficie adsorbidos a los sedimentos.

Para ello, el primer paso ha sido la implementación de un modelo hidrológico en la situación actual, que permite la evaluación simultánea del ciclo de sedimentos y del ciclo del nitrógeno. El modelo elegido ha sido el modelo distribuido de

simulación hidrológica TETIS (Francés et al., 2007). Éste posee un sub-modelo de sedimentos (Bussi et al., 2014) que ha permitido la evaluación de los procesos de erosión, transporte y sedimentación. Así mismo, ha sido necesario el desarrollo de un sub-modelo que incorpore el ciclo del nitrógeno. Éste se ha basado en el modelo INCA (Wade et al., 2002), al que se le han realizado algunas mejoras, como son la incorporación del nitrógeno orgánico como forma nitrogenada a evaluar y su acoplamiento al sub-modelo de sedimentos. Esta última, permite evaluar no sólo el volumen de nitrógeno transportado en disolución, sino también el transportado adsorbido a los sedimentos. Una vez implementado, se han realizado las simulaciones correspondientes a los escenarios propuestos para reducir los aportes de nitratos superficiales y a las aguas subterráneas y la erosión.

Los resultados obtenidos muestran que se puede conseguir una reducción significativa de los aportes tanto de sedimentos como de compuestos nitrogenados a la laguna del Mar Menor, lo que ayudará a mejorar el estado ecológico de la misma.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha estado financiada por los proyectos coordinados de Plan Nacional TETISMED (CGL2014-58127-C3-3-R) y SILWAMED (CGL2014-58127-C3-2-R) y el Gobierno Regional de Murcia.

REFERENCIAS

- Aragón, R., Jiménez-Martínez, J., García-Aróstegui, J.L., Hornero, J. 2009. Hidrogeología y recursos hídricos subterráneos en el área Campo de Cartagena. *En: El Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico*. Instituto Euromediterráneo del Agua, España, 85-108.
- Bussi, G., Francés, F., Montoya, J.J., Julien, P. 2014. Distributed sediment yield modelling at Goodwin Creek: importance of initial sediment conditions. *Environmental Modelling & Software*, 58 (2014): 58-70, doi:10.1016/j.envsoft.2014.04.010
- Francés, F., Vélez, J.I., Vélez, J.J. 2007. Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 332(1-2), 226–240.
- León, V.M., Bellido, J.M. 2016. El Mar Menor: un espacio de interés socioeconómico y ambiental. *En: El Mar Menor. Una laguna singular y sensible*. Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Economía y Competitividad, España, 17-27.
- Martínez, M. 2007. Las ramblas del Campo de Cartagena. Problemática ambiental de la laguna del Mar Menor. *Revista Murciana de Antropología* 14, 63–76.
- Moreno-González, R., Campillo, J.A., León, V.M. 2013. Influence of an intensive agricultural drainage basin on the seasonal distribution of organic pollutants in seawater from a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, SE Spain). *Marine Pollution Bulletin* 77, 400–411.
- Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., Pérez-Ruzafa, I.M. 2009. 30 años de estudios en la laguna costera del Mar Menor: de la descripción del ecosistema a la comprensión de los procesos y la solución de los problemas ambientales. *En: El Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico*. Instituto Euromediterráneo del Agua, España, 17-46.
- Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C. 2016. *Efectos de la rambla del Albuñón sobre el ecosistema lagunar del Mar Menor*. Departamento de Ecología e Hidrología, Facultad de Biología, Universidad de Murcia, España.
- Wade, A.J., Durand, P., Beaujouan, V., Wessel, W.W., Raat, K.J., Whitehead, P.G., Butterfield, D., Rankinen, K., Lepisto, A. 2002. A nitrogen model for European catchments: INCA, new model structure and equations. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(3), 559-582.

Diseño de estructuras de regulación en la red de saneamiento de la cuenca Oeste de Gijón

Manuel Quintana López^a, Pedro Menéndez Rodríguez^b y Vidal Gago Pérez^c

^aEPTISA Servicios de Ingeniería. Ronda Xosé Castiñeira 17 Entrepunta B, 27002 Lugo. mquintana@eptisa.com

^bEmpresa Municipal de Aguas de Gijón. Avda. del Príncipe de Asturias, 70, 33212 Gijón. pmenendez@gijon.es

^cEmpresa Municipal de Aguas de Gijón. Avda. del Príncipe de Asturias, 70, 33212 Gijón. vgago@gijon.es

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Introducción

Durante los últimos años, en la cuenca Oeste de Gijón se han acometido diversas actuaciones de la red de saneamiento con el objetivo de incrementar la capacidad hidráulica del sistema y reducir, dentro de lo posible, los vertidos al medio receptor en tiempo de lluvia y los incidentes de inundaciones que se han sucedido en esta zona de la ciudad (como por ejemplo en la zona baja de la Avda. Brasil). De forma complementaria a estas actuaciones, se contempla un estudio integral de la cuenca Oeste con el fin no sólo de determinar el volumen de retención necesario, sino también el resto de actuaciones requeridas para integrar el total de la cuenca Oeste en un único modo de funcionamiento conjunto.

Planteamiento del estudio

El estudio planteado se basa en la construcción de un modelo numérico de la red de saneamiento para simular el comportamiento de la misma tanto durante el año medio, como durante eventos de lluvia con diferentes periodos de retorno. La idea es emplear los resultados obtenidos la simulación correspondiente al año medio para dimensionar los elementos de regulación necesarios, y comprobar la capacidad hidráulica del sistema para diferentes periodos de retorno.

El software empleado para la construcción del modelo es el paquete informático InfoWorks ICM (Wallingford Software). Se trata de un modelo dual (agrega modelo de flujo en superficie con modelo de flujo en colectores) que emplea una aproximación bidimensional para discretizar el flujo en la superficie, y una aproximación unidimensional para simular el flujo en redes de colectores. En este sentido cabe destacar que los modelos 1D/2D son especialmente adecuados en estudios de inundabilidad urbana en zonas con pendientes suaves (como es el caso de la zona Oeste de la ciudad de Gijón) dado que los modelos bidimensionales reproducen mucho mejor los flujos superficiales. Para construir el modelo presentado en este artículo se emplearon datos geo-referenciados de la red de drenaje y modelos de elevación del terreno facilitados por la EMA (Empresa Municipal de Aguas de Gijón, S.A).

El modelo bidimensional está acoplado a los elementos unidimensionales de la red de drenaje (pozos, puntos de vertido, colectores, aliviaderos, compuertas, etc) y se introducen además subcuencas 1D asociadas a los tejados para permitir dos tipos de transformación lluvia-escorrentía para estos en el modelo 2D (lluvia sobre malla 2D y lluvia sobre subcuenca 1D conectada directamente a la red de drenaje).

El objetivo del modelo 2D es el de disponer de una herramienta que reproduzca fielmente el flujo en superficie y permita detectar los problemas de inundación a efectos de diseñar soluciones de drenaje superficial; los periodos de simulación en 2D son claramente superiores a los empleados en modelos puros 1D con lo que, para aquellas simulaciones orientadas al diseño de soluciones o a la comprobación de la respuesta del sistema para el año medio de precipitación (número de vertidos/año y volúmenes de gestión de lluvia neta) se empleará un modelo 1D equivalente (las diferencias estarán en las caracterización de las subcuencas y en los atributos de elementos de la red que se conectan a la malla 2D).



Figura 1| Esquema de cuencas de drenaje y ejemplo de malla bidimensional

Calibración del modelo de red

Para calibrar el modelo de red construido se está llevando a cabo una campaña de campo que comprende la instalación de pluviómetros para registrar la precipitación en superficie, y caudalímetros en diferentes puntos de la red.

En la calibración en tiempo seco, el parámetro fundamental que se pretende calibrar es la infiltración y la estacionalidad. Para ello, en cada sección de control, se comparan los hidrogramas medidos y modelizados. Las diferencias en términos de volumen se trasladan a un caudal medio que se inserta, como caudal entrante variable a lo largo del año, en el conducto previo a la sección de control

En la calibración en tiempo de lluvia, a partir de los datos de precipitación y caudales registrados, y con la infiltración previamente calibrada, se ajustan las áreas de escorrentía y las pendientes de los tejados. Estos parámetros influyen en el volumen y la punta de los hidrogramas derivados a la red de saneamiento respectivamente.

Escenarios de simulación

La construcción del modelo bidimensional está orientada a la simulación de escenarios de comprobación de capacidad hidráulica en la red urbana para los eventos de diseño (período de retorno de 25 años) y para la comprobación de la capacidad de los ríos que cruzan el área de estudio (período de retorno de 500 años). De esta manera no sólo se reproduce de manera más fiable la hidrodinámica en las superficies impermeables, sino que también se pueden determinar la extensión de zonas inundadas, calados en superficie, tiempos de permanencia, etc.

Por otra parte se prevé la simulación del comportamiento de la red para el año medio hidrológico. Para ello, y a partir de los registros diezminutales de las estaciones meteorológicas de la AEMET se definirá la pluviometría correspondiente. Con los resultados del modelo de red para dicho año, y en función del número de vertidos que se pretenda alcanzar se definirá la ubicación y volumen de las obras de regulación necesarias.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca dentro de la *Redacción del Proyecto de construcción del nuevo depósito regulador de aguas de tormenta en zona del Arbeyal*, recientemente adjudicado a la empresa EPTISA Servicios de Ingeniería por la Empresa Municipal de Aguas de Gijón.

Simulación de la contaminación bacteriológica en la Ría de Pontevedra mediante modelos hidrodinámicos acoplados

Manuel Quintana López^a, Xaquín Beiroa Raposo^b, Ignacio Fraga Cadórniga^c, Adrián Quevedo Pérez^d y Juan Marcos Álvarez de Gabriel^e

^aEPTISA Servicios de Ingeniería. Ronda Xosé Castiñeira 17 Entrepantana B, 27002 Lugo. mquintana@eptisa.com

^bIDOM Ingeniería y Consultoría. Avda. Lugo 151-153, 15703 Santiago de Compostela. xaquín@idom.com

^cEPTISA Servicios de Ingeniería. Ronda Xosé Castiñeira 17 Entrepantana B, 27002 Lugo. ifraga@eptisa.com

^dIDOM Ingeniería y Consultoría. Avda. Lugo 151-153, 15703 Santiago de Compostela. adrián.quevedo@idom.com

^eEPE Augas de Galicia. Rúa Doutor Maceira, 18 Bajo, 15706 Santiago de Compostela. juan.marcos.alvarez.gabriel@xunta.gal

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Introducción

Las rías gallegas constituyen no sólo uno de los ecosistemas con mayor riqueza ecológica del noroeste peninsular, sino también uno de los motores económicos de Galicia debido a las numerosas actividades desarrolladas en torno a las mismas (pesca, marisqueo, turismo, etc.). Sin embargo la creciente presión urbanística, así como la falta de estructuras y estrategias de saneamiento en muchos puntos de las rías, supone una amenaza a este entorno. Debido a ello, en los últimos años se ha realizado un notable esfuerzo tanto económico como técnico en mejorar las infraestructuras existentes. En este artículo se presentan los resultados del estudio realizado para determinar la contaminación movilizada a la ría de Pontevedra y su posterior evolución.

Independientemente del enfoque académico de este resumen, la base fundamental de este artículo está vinculada a la aplicación práctica de los avances técnicos en materia de software al servicio de la planificación y ordenación de los sistemas de saneamiento de las rías gallegas competencia del EPE Augas de Galicia; se pretende por tanto dar una visión actualizada de las posibilidades que el estado actual de la técnica ofrece para, una vez diagnosticado un sistema y elegida su tipología (de tipo fundamentalmente unitario), fundamentar la estrategia de gestión de las descargas al medio receptor en tiempo de lluvia en el marco de cumplimiento de la legislación vigente y la sostenibilidad de las propias infraestructuras públicas de saneamiento.

Planteamiento del estudio

En este estudio se simuló la evolución de los contaminantes bacteriológicos vertidos a la Ría de Pontevedra acoplando dos modelos numéricos. Uno de los modelos se emplea para simular los contaminantes movilizados hasta la ría y otro de los modelos se emplea para determinar la evolución dentro de la misma.

En primer lugar, empleando el modelo Infoworks ICM se simuló el comportamiento de la red de saneamiento de los concellos de Marín, Pontevedra y Poio. De esta manera se cuantifican tanto los volúmenes como las cargas contaminantes vertidos al medio receptor. Para la construcción y calibración de este modelo numérico de red se realizó una extensa campaña e campo, inventariando la red existente e instalando cerca de 200 secciones de control. El objetivo de este modelo de red es tanto analizar el comportamiento de la red existente como dimensionar las infraestructuras de regulación necesarias (principalmente bombeos y tanques de tormenta) con el fin de reducir el número de alivios de la red en tiempo de lluvia.

Una vez analizado el comportamiento de la red, se simula la dispersión de los vertidos realizados a la ría de Pontevedra. En este sentido, cabe destacar que la hidrodinámica de las rías gallegas se caracteriza por una gran complejidad debido a los numerosos fenómenos involucrados. En las zonas de desembocadura de los ríos se produce el encuentro entre masas de agua dulce y salada, que generan cuñas salinas y por tanto gradientes de densidad. También, debido a la particular batimetría de las

rías, se suele producir una estratificación térmica muy importante, con fuertes gradientes de temperatura que inducen corrientes con componentes de velocidades verticales notables. Debido a ello, se consideró necesario emplear un modelo hidrodinámico tridimensional, con el objetivo de reproducir la circulación en la ría de la manera más precisa posible, incorporando estos fenómenos a los forzadores hidrodinámicos. El software empleado para este fin es el modelo MOHID, que además de la hidrodinámica en entornos tan complejos como las rías, es capaz de reproducir tanto el fenómeno de dilución como la mortalidad de los contaminantes bacteriológicos en función de las condiciones del medio receptor (temperatura, salinidad, etc.) y del entorno (radiación principalmente). Cabe destacar que para simular la evolución de los contaminantes, el modelo emplea una aproximación lagrangiana, discretizando los vertidos en una serie de trazadores. Este enfoque es especialmente adecuado para reproducir vertidos puntuales, donde se producen gradientes de concentraciones muy elevados. En estos casos, el planteamiento euleriano empleado por la mayoría de los paquetes de simulación hidrodinámicos, requeriría tamaños de malla mucho más finos (y por tanto tiempos de cálculo mucho más elevados) para obtener el mismo nivel de precisión en los resultados.

El modelo hidrodinámico de la ría construido fue validado empleando perfiles verticales de salinidad y temperatura registrados por Intecmar en diferentes puntos de la ría, mostrando los resultados obtenidos cómo el modelo es capaz de reproducir las estratificaciones observadas (Figura 1). El modelo tridimensional de la ría también fue empleado para analizar el impacto de las descargas del emisario submarino de la EDAR de Placeres. En primer lugar se analizó la afección del emisario actualmente existente a los campos de bateas cercanos al punto de vertido, mostrando una importante afección a los mismos (Figura 1). Debido a ello se planteó una nueva ubicación y configuración del emisario, basando este nuevo diseño en los resultados de simulaciones de la dilución del vertido realizadas con el modelo de ría calibrado. Este nuevo diseño será posteriormente desarrollado en el consiguiente proyecto constructivo.

En definitiva, el trabajo que se presenta

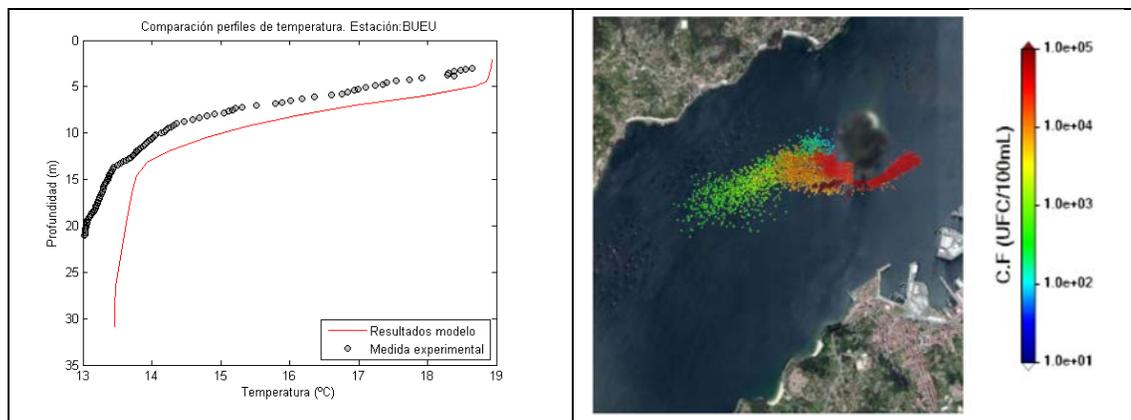


Figura 1| Ejemplos de perfiles de salinidad medidos y calculados (izquierda) y contaminación bacteriológica en superficie en pleamar debido al vertido del emisario actual (derecha).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca dentro del *Plan de Saneamiento local da ría de Pontevedra*, promovido, licitado y recientemente adjudicado a la UTE de las empresas EPTISA Servicios de Ingeniería e IDOM Ingeniería y Consultoría por el EPE Aguas de Galicia.

Sistema de detección y medición de peces en nubes de puntos para escalas de peces de hendidura vertical

Rico-Díaz, A.J.^{a1}, Pallas A.^{a2}, Rabuñal J.R.^{a3}, Puertas, J.^{a4}

^{a1,a2} Grupo RNASA-IMEDIR, Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: ^{a1}angel.rico@udc.es

^{a3} Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC), Campus de Elviña s/n. E-mail: juanra@udc.es

^{a4} Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: jeronimo.puertas@udc.es

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

En este trabajo se presenta una herramienta para la detección y medición de peces utilizando nubes de puntos y técnicas de visión artificial con aplicación en escalas de peces de hendidura vertical.

Para generar la nube de puntos se hace uso de un sensor 3D que emite radiación infrarroja a la escena y a partir del comportamiento de la misma genera una matriz de puntos, conocida como nube de puntos, que representa la superficie visible de la escena. El sensor utilizado es la Kinect, tanto es su versión 1 como en su versión 2. Es importante señalar que el comportamiento de uno y otro es diferente ya que, aunque los dos generan una nube de puntos, la primera utiliza la tecnología de luz estructurada y la segunda utiliza la tecnología de tiempo de vuelo. La Kinect ofrece la nube de puntos, una imagen infrarroja y una imagen en RGB. Estos tres elementos serán combinados para dotar al sistema de mayor fiabilidad.

Para la aplicación de técnicas de visión artificial, primeramente se procede a realizar una calibración del sensor y establecer la corrección de medias debido a la medición en agua. Posteriormente se realiza el proceso de visión artificial con las etapas de adquisición de la imagen, preprocesado (incluyendo el estudio de diferentes técnicas de eliminación de fondo), segmentación, detección e interpretación de los resultados.

El sistema contempla la posibilidad de detecciones múltiples y solapadas de peces de manera simultánea (Figura 1). Esto es útil cuando se trabaja con grandes cantidades de peces, como puede ocurrir en las piscifactorías.

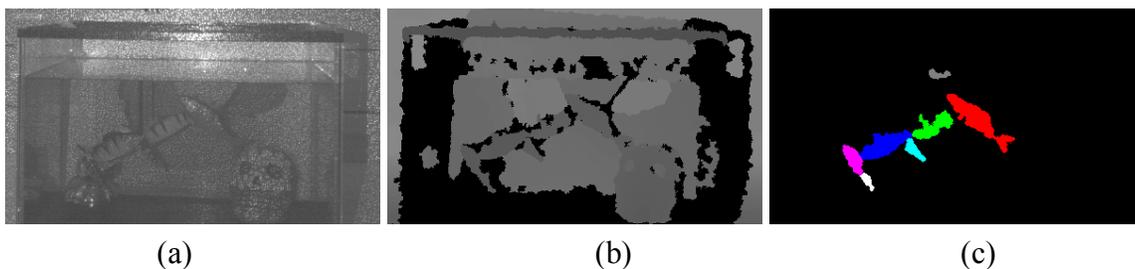


Figura 1 | (a) Mapa de infrarrojos (b) Mapa de profundidad (c) Funcionamiento del sistema ante solapamiento de peces, detectando cada uno de forma individual.

Además para dotar a la herramienta de mayor robustez se realiza un proceso de seguimiento que se encarga de mantener la persistencia de la información de las detecciones del sistema, en las fases anteriores se obtienen los peces que se encuentran en el frame actual sin tener en cuenta los frames anteriores y posteriores pero una aplicación que cuenta con la posibilidad de obtener varios frames a lo largo del tiempo está desaprovechada si no realiza ningún tipo de seguimiento para mantener la persistencia y la coherencia de las detecciones realizadas entre frames sucesivos.

Se han realizado pruebas tanto en entorno simulado (en laboratorio) como en entornos reales (Figura 2). En el laboratorio se ha comprobado el buen comportamiento del sistema comparando las mediciones adquiridas con las reales, hecho que no se ha podido comprobar en el entorno real al no disponer de las medidas reales de los peces.

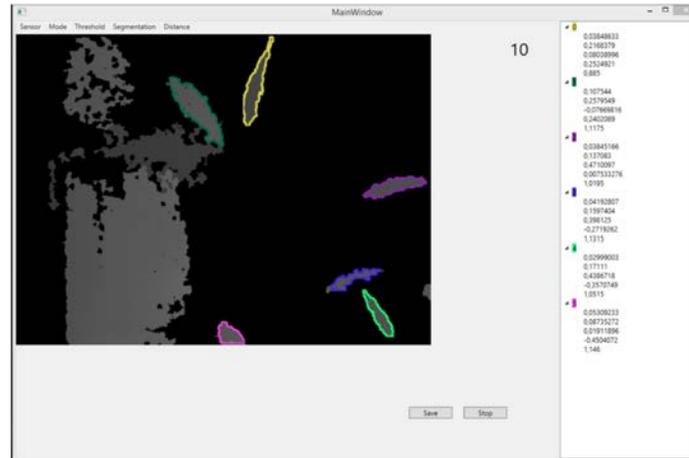


Figura 2| Ensayo en entorno real

Monitorización cuantitativa y cualitativa de alivios en redes de alcantarillado a través de un sistema de ultra-bajo consumo

Russo, B.^{a1,b1}, Ortega, A.^c, Sánchez, J. C.^b, López A.^{d1}, Ortega J.^{d2}, Guash R.^{a2}, Montes J.^e

^aAquatec (SUEZ Advanced Solutions). Paseo de la Zona Franca, 46-48, 08038, Barcelona, España. Email: ^{a1}brusso@aquatec.es; ^{a2}rguash@aquatec.es

^bGrupo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA). Escuela Politécnica de La Almunia (EUPLA). Universidad de Zaragoza. Calles Mayor s/n · 50100 La Almunia de Doña Godina (Zaragoza), España. Email: ^{b1}brusso@unizar.es ; ^{b2}jucasan@unizar.es

^cZaracontech S.L. 50100 Zaragoza. Avda. María Zambrano 31, Torre Oeste, Planta 15, Zaragoza, España. Email: aortegatello@me.com

^dTecnalia I&R. Ronda San Juan Bosco, s/n, 50100 La Almunia de Doña Godina (Zaragoza) España. Email: ^{d1}alberto.lopez@tecnalia.com ; ^{d2}jantonio.ortega@tecnalia.com

^eDepartament Ecologia Urbana, Àmbit de Badalona Pròspera i Sostenible, Ajuntament de Badalona, España. Email: jmontes@badalona.cat

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Gran parte de la contaminación de nuestros medios hídricos receptores procede del desbordamiento de los sistemas de saneamiento (DSS) en tiempo de lluvia (Butler y Davies, 2010). La necesidad, a raíz de la publicación del RD1290/2012, de monitorizar los alivios de estos sistemas al medio para cuantificar las descargas en períodos de lluvia supondrá un gran reto en los próximos años por la cantidad de puntos de alivio que se necesitará monitorizar en un corto plazo de tiempo. Por esta razón, en el marco de dos proyectos de I+D+i (PROMOVER y BINGO), se ha diseñado un sistema de monitorización de bajo coste, escalable, flexible y de muy bajo consumo, que permita detectar, de forma sencilla, el número de episodios de alivio al medio durante sucesos de lluvia, así como su duración, y cuantificar los volúmenes vertidos y analizar la calidad de las aguas en aquellos puntos que se consideren de interés. El sistema básico se alimenta con baterías de litio y se conecta con tecnología celular 3G a un servidor remoto en el que se representan gráficamente los resultados y se realizan representaciones estadísticas. El servidor publica los datos en un portal accesible desde todo tipo de dispositivos fijos y móviles. Los sensores asociados a este sistema son dos sondas de temperatura, estratégicamente colocadas aguas arriba y aguas abajo del punto de alivio (ICRA, 2015), un sensor de nivel de tipo radar y un sensor de turbidez. En función del contexto y del objetivo de la monitorización (determinación de la frecuencia y duración de alivio, cuantificación de los volúmenes de alivio o estimación de la carga contaminante vertida al medio en función de la correlación de algunos parámetros de calidad con la turbidez), se emplean uno o más sensores de los previamente citados permitiendo, el sistema, una importante escalabilidad (Russo *et al.*, 2015).

El conseguir un consumo ultra-bajo es fundamental para que la duración de las baterías sea suficientemente grande (entre uno y dos años dependiendo de la frecuencia de alivio) y evitar que haya que sustituirlas por otras nuevas en un plazo corto de tiempo. Al margen de la limitación de los consumos específicos de cada componente del sistema, se ha trabajado también en el algoritmo de funcionamiento de los sensores para que la captura de datos con o sin alivios sea la más adecuada en términos de resolución temporal necesaria para la monitorización y, al mismo tiempo, óptima en términos de consumo.

En este artículo, se presentan las características principales del sistema de monitorización de DSS de ultra bajo consumo diseñado por Zaracontech e implementado en dos puntos de alivio de la ciudad de Badalona en el marco del proyecto europeo BINGO (Bringing INnovation to onGOing water management - a better future under climate change) (2015-2019). Previamente, en el marco de otro proyecto, PROMOVER, (Proyecto de monitorización inteligente de vertidos de redes de alcantarillado) dentro del Programa de Apoyo a Agrupaciones Empresariales Innovadoras (AEIs) del Ministerio de Industria, Energía y Turismo), se había instalado un primer prototipo en una cámara de alivio de la red de alcantarillado de la ciudad de Zaragoza (Russo *et al.*, 2015). La principal diferencia entre los sistemas propuestos en los dos proyectos (PROMOVER y BINGO) reside en la necesidad de optimizar los consumos del sistema debido a que en Badalona no se disponía de una acometida eléctrica para su alimentación como en Zaragoza. Esto se ha conseguido a través de una serie de innovaciones ligadas al uso de baterías de alta capacidad y de circuitos integrados de ultra-bajo consumo. Además, la incorporación de un sistema microcontrolador, con la electrónica de interfaces analógicos y digitales, permite la conexión de una variedad de dispositivos periféricos suficiente para

V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de octubre. A Coruña

los sensores utilizados. Este microcontrolador, normalmente está dormido, en modo de bajo consumo y cuando se activa para realizar alguna medida o establecer alguna comunicación, únicamente se alimentan aquellos componentes que se necesitan en cada momento. Finalmente, debido a que la comunicación de datos es una fuente importante de consumo, es posible configurar su frecuencia en remoto, diferenciando, claramente, el periodo en que se producen desbordamientos en el cual es interesante observar la evolución de las variables en tiempo real.

Además, se ha desarrollado una interface que permite procesar y visualizar todos los parámetros monitorizados de forma rápida e intuitiva (Figura 1) a través de un servidor web. La herramienta informática utilizada permite también la descarga de datos de eventos en archivos tipo y su visualización gráfica, así como la generación automática de informe tipo.

A través de este sistema, la empresa Aquatec, que lidera el caso de estudio de Badalona en el marco del BINGO, en los próximos meses, monitorizará y caracterizará los alivios producidos durante los sucesos de lluvia con el fin de estimar los impactos producidos por los dichos desbordamientos en las aguas de baños de la ciudad.



Figura 1 | Evolución de las temperaturas aguas abajo y aguas arriba del punto de alivio de Maria Auxiliadora (Badalona) y del nivel de las DSUs en el colector hacia el medio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro de la actividad del proyecto europeo BINGO (Bringing INnovation to onGOing water management - a better future under climate change) financiado por el programa H2020. Grant Agreement 641739.

REFERENCIAS

- Butler, D., Davies, J.W. 2010. Urban drainage. Third edition. E&FN SPON.
- Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA), 2015. Sistema de monitorización de desbordamientos en redes de tuberías. Ll. Corominas, O. Gutiérrez, V. Acuña. ES2490065B1. 2/9/2015.
- Russo, B., Ballester, Ll., Castrillo, J.I., Jaría, J.D., Olona, N., Sánchez J.C. 2015. Monitorización inteligente de las DSUs en un caso piloto de la ciudad de Zaragoza. *IV Edición de las Jornadas de Ingeniería del Agua*. Córdoba, España.

El camino del agua en el paisaje urbano, barrio de Bon Pastor, Barcelona.

Soto-Fernández, R.^a y Perales-Momparler, S.^b

^aAyuntamiento de Barcelona. C/ Bolivia 105, 2ª planta. 08018 Barcelona. Email: rsotof@bcn.cat

^bGreen Blue Management; Avda. del Puerto 180 pta. 1-B. 46023 Valencia. Email: sara.perales@greenbluemanagement.com

Línea temática | Monográfico

RESUMEN

“Así como hay caminos para los hombres y las bestias, también hay caminos para el agua. Unos para dirigirla donde se quiere; otros, para que no vaya donde no se desea que vaya.” Autor desconocido.

Si nos parásemos a pensar por un instante en esta idea de los recorridos del agua en la actualidad de nuestras ciudades, se hace difícil entender por qué el agua de lluvia, relativamente limpia en origen, se mezcla con las aguas fecales, aumentando considerablemente el volumen de aguas contaminadas que se vierten a los medios naturales sin depurar, o en el mejor de los casos, llegando a la depuradora, donde ese inmenso volumen de agua es despojado de la contaminación que no contenía en su origen, con los consecuentes costes económicos y energéticos.

Hay otros temas también difíciles de entender como el tema de las basuras, la contaminación atmosférica, la movilidad, la falta de permacultura en la ciudad a través de los huertos urbanos, etc.

Nos encontramos por tanto ante una situación urbana en la que aparentemente las cosas funcionan, pero nada más lejos de la realidad, el engaño está en que nos hemos acostumbrado a la comodidad de lo inmundo como algo aceptable. En esta ignorancia y costumbres vive o vivimos la mayoría de ciudadanos.

El problema no está en que no hayamos conseguido definir según la voluntad los recorridos del agua, sino no que la comodidad de lo inmediato y la falta de visión nos han impedido entender que la ciudad a pesar de ser un artificio puede respetar el ciclo natural del agua así como otros ciclos naturales.

Uno de los principales objetivos de nuestra intervención en este barrio de Bon Pastor que presenta el artículo (y que es extrapolable al resto de ciudad y ciudades), es construir un paisaje que aporte felicidad (paz, tranquilidad, etc.) a los habitantes, buscando la máxima habitabilidad en el espacio urbano de forma económica y sostenible, evitando lo que es superfluo al mismo tiempo que naturalizamos el entorno. Otro de los objetivos es aprovechar la oportunidad para poner a prueba elementos “novedosos” para las urbanizaciones habituales que aporten mejoras en calidad de vida y mejoras en la sostenibilidad de la construcción, con la finalidad de que puedan llegar a estandarizarse pasando a ser elementos más cotidianos.

Como punto de partida entendemos que las aguas pluviales no han de mezclarse con las aguas fecales, por tanto creamos un escenario diferente y voluntario en el que la reserva de terrenos permeables dentro de las zonas a urbanizar se vuelve indispensable para garantizar un correcto drenaje urbano sostenible y que aporta resiliencia, de modo que la escorrentía generada pueda retomar su camino a través de sistemas pensados para que el ciclo natural del agua no se rompa, como pavimentos permeables, zanjas drenantes, parterres inundables, pozos de infiltración, franjas de biorretención, alcorques de infiltración, etc. Este enfoque del empleo de infraestructura verde como una forma inteligente e integrada de gestionar nuestro capital natural y, entre otros, mitigar el incremento del riesgo de inundación, está ya en la actualidad refrendado tanto a nivel europeo como nacional (Comisión Europea 2014; Boletín Oficial del Estado 2016).

De esta forma conseguimos múltiples objetivos, como el incremento de la disponibilidad de los recursos hídricos dentro de la propia urbe a partir de la recarga de los acuíferos, contribuyendo también a disminuir la cuña salina en los límites costeros como es el caso de Barcelona. Este aumento de recursos hídricos permite aumentar las zonas verdes y ajardinadas que al mismo tiempo favorecerán la gestión de las escorrentías en un ciclo cerrado y sostenible.

La intervención en Bon Pastor, que es un barrio de nueva creación en el que el planeamiento hace casi tabula rasa de lo existente, se basa en experiencias previas SUDS llevadas a cabo en la misma ciudad, como la de Can Cortada (Perales-Momparler y Soto-Fernández 2013).



Figura 1 | Franja de biorretención (izquierda), parterre inundable (centro) y cartel informativo (derecha) en el barrio de Bon Pastor (Barcelona).

La modelización hidrológico-hidráulica realizada sobre el sistema de drenaje construido, muestra que para un año tipo (1997, cuya precipitación anual fue de 478 mm), menos de un 0,1% de la escorrentía generada en las zonas gestionadas mediante SUDS llega al sistema unitario, reduciendo por tanto en un 99,9% la cantidad de escorrentía que debe ser transportada y tratada en la depuradora (o en su caso vertida al mar en episodios de descarga del sistema unitario). Asimismo, para la tormenta de diseño de período de retorno $T=10$ años (de una hora de duración, con una intensidad pico diezminutal de 205 mm/h y un volumen de precipitación total de 59 mm), se calcula que se produce una reducción de los caudales pico del 85%, así como un retardo de la punta de los hidrogramas de entrada a la red unitaria.

Además de los mencionados, cabe destacar otros beneficios sociales y ambientales, como la multi-funcionalidad de los espacios públicos, la disminución del efecto “isla de calor”, la contribución a la recarga del acuífero subyacente, etc.

Esta forma de gestionar el agua de escorrentía urbana tiene un carácter universal y se puede aplicar en cualquier zona urbanizada del mundo, siendo aptos para cualquier tipo de climatología con las adaptaciones pertinentes.

Creemos que es necesario aprender de nuevo la gran importancia y valor indiscutible del agua en las ciudades, no como un agente atmosférico enemigo sino como un elemento que contribuye a mejorar la calidad urbana y por tanto de vida; y para ello es importante la divulgación de experiencias como esta.

REFERENCIAS

Boletín Oficial del Estado (2016). Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.

Comisión Europea (2014): Construir una infraestructura verde para Europa. Oficina de Publicaciones Oficiales de la Unión Europea. ISBN 978-92-79-39996-1. doi:10.2779/2738.

Perales-Momparler, S., Soto Fernández, R. (2013). La integración de la gestión de las escorrentías en el paisaje de Barcelona: actuaciones de regeneración urbana. 147-154. En: Vallés-Morán, F.J., Andrés-Doménech, I., Escuder-Bueno, I., López-Jiménez, P.A., Marco Segura, J.B. (eds), 2013. III Jornadas de Ingeniería del Agua. La protección contra los riesgos hídricos. Vol 2. (ISBN 978-84-267-2071-9)].

Técnicos municipales y SuDS ¿En contra o a favor?

Pablo Valls Donderis^a, Gonzalo Valls Benavides^b y Pedro Millán Romero^c

Planifica Ingenieros y Arquitectos, COOP. V. Calle San Vicente 4, 3º piso. 12002 Castellón. E-mail: ^apablo.valls@planifica.org, ^bgvalls@planifica.org y ^cpedro.millan@planifica.org

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

Los sistemas convencionales de drenaje de aguas pluviales en entornos urbanos presentan dos problemas: en primer lugar, los colectores suelen estar infradimensionados y tienen lugar inundaciones, bien por estar diseñados para una precipitación menor o bien por estar concebidos para una superficie urbana que se ha incrementado; en segundo lugar, no filtran los contaminantes que el agua recoge en su recorrido por azoteas, aceras y calzadas y que llegan a las depuradoras o al medio natural. Para paliar esta situación, desde finales de los años 80 Estados Unidos, seguido en los años 90 por Australia, Reino Unido y otros países de la Unión Europea, han ido desarrollando normativa y manuales para la implantación de distintas técnicas con características comunes conocidas hoy en día como SuDS (sistemas de drenaje sostenible – por sus siglas en inglés).

Los SuDS son un conjunto variado de medidas para gestionar el agua de lluvia. Hay estructuras SuDS aisladas; cuando varias de estas funcionan de manera coordinada se tiene un sistema SuDS. Estos sistemas pueden tratar las aguas de forma autónoma o en combinación con los sistemas convencionales. Los objetivos básicos son laminar la escorrentía y mejorar su calidad y, en la medida de lo posible, facilitar la infiltración del agua en el subsuelo y mejorar el paisaje urbano. Existen diversas tipologías: pueden ser superficiales (la mayor parte) o subterráneas (cuando no hay espacio) y de mayor o menor tamaño, pero todas tienen en común la presencia de materiales granulares y/o vegetación para reducir la velocidad del agua y filtrar los contaminantes que arrastra.

En los últimos diez años los sistemas de drenaje sostenible han comenzado a ser una realidad en España, con la aparición de casos reales y normativa (Ayuntamiento de Madrid, 2006; Gobierno de España, 2016) que los promueve. En la Comunitat Valenciana varios proyectos de investigación (AQUAVAL, E²STORMED, CoSuDS y CerSuDS) demuestran su viabilidad en entornos mediterráneos con casos prácticos. Sin embargo, todavía no hemos llegado al grado de implantación de países que nos preceden en este ámbito.

Los ayuntamientos tienen las principales competencias en el espacio urbano. En esta investigación, bautizada como VíaSuDS (viabilidad de los SuDS) se está realizando visitas para informar a los técnicos sobre SuDS en una muestra de municipios de la Comunitat Valenciana. Los criterios de selección son: municipios que han aparecido en prensa por inundaciones de origen pluvial o municipios cuyas zonas urbanas se hallan afectados por la capa peligrosidad geomorfológica de la cartografía del PATRICOVA (Generalitat Valenciana, 2015); además, en el proceso de selección se ha considerado que el número de habitantes sea superior a 7000. También, en las visitas informativas, mediante cuestionarios y conversaciones con los asistentes, se recoge información sobre los problemas municipales relacionados con la gestión de aguas pluviales y sobre la predisposición de los técnicos al drenaje sostenible.

Por el momento se ha visitado 20 municipios y se tiene previsto visitar otros tantos. Los resultados son todavía provisionales. Hasta la fecha se ha encontrado que los principales problemas de gestión de aguas de lluvia son inundaciones causadas por barreras arquitectónicas (infraestructuras lineales perpendiculares al drenaje natural) o, en municipios costeros, por urbanizar en zonas de poca pendiente y escasa cota. Además, se presentan problemas de desbordamientos de depuradoras y redes de saneamiento antiguas entre otros.

La mayoría de técnicos ven los SuDS como una filosofía bonita pero poco práctica. Una de las principales barreras es la económica: los técnicos municipales tienen miedo de que les salga muy caro y se muestran desconfiados de las estimaciones de

costes existentes. Otra barrera recurrente en los debates es la política: la red de saneamiento no se ve y, para que los políticos apuesten por el cambio, tiene que haber una demanda social que de momento no existe. En cuanto a las barreras técnicas, se comenta mucho el posible aumento de humedades en sótanos y las dificultades de implantación en zonas con niveles freáticos elevados o con subsuelos impermeables. Una de las mayores preocupaciones son la vida útil y las tareas y costes de mantenimiento: se teme que los materiales granulares y filtrantes se colmaten y haya que levantarlo todo sin haber transcurrido mucho tiempo desde la implantación de una determinada infraestructura.

Son pocos los técnicos que se muestran totalmente reacios y hay ayuntamientos favorables a iniciar actuaciones hacia el cambio de paradigma. La filosofía de estos ayuntamientos es la de realizar actuaciones puntuales en la zona urbana consolidada, incorporar ordenanzas que obliguen a implantar SuDS en cualquier remodelación o reparación urbana y diseñar con drenaje sostenible los nuevos desarrollos urbanísticos. También hay ayuntamientos que, sin ser conscientes, ya han implantado alguna de estas tipologías para resolver problemas puntuales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la ayuda recibida de la Conselleria d'Educació, Investigació, Cultural i Esport de la Generalitat Valenciana dentro del programa para la contratación de investigadores en empresas (ref. AEST/2016/027) y la colaboración del Departamento de Urbanismo de la Universitat Politècnica de València. Los autores también quieren expresar todo su agradecimiento a los participantes en las visitas a los ayuntamientos por el tiempo y la atención dedicados.

REFERENCIAS

Ayuntamiento de Madrid, 2006. *Ordenanza de gestión y uso eficiente del agua en la ciudad de Madrid*. B.O. Ayuntamiento de Madrid 22/06/2006 nº 5709 pp. 2410-2443.

Generalitat Valenciana, 2015. *Decreto 201/2015, de 29 de octubre, del Consell, por el que se aprueba el Plan de acción territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunitat Valenciana*. D.O.C.V. 03/11/2015 nº7649 pp. 28490-28507.

Gobierno de España, 2016. *Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales*. B.O.E. 29/12/2016 nº 314 pp. 91133-91175.

Páginas web de los proyectos de investigación

AQUAVAL: <http://www.aquavalproject.eu/index.asp?accADesplegar=001>

CerSuDS: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=5665

CoSuDS: <http://www.climate-kic.org/projects/collaborative-transition-towards-sustainable-urban-drainage-making-it-happen-at-district-scale/>

E²STORMED: <http://www.e2stormed.eu/>

Selección y aplicación de indicadores de sostenibilidad hídrica en la comarca de O Salnés (Pontevedra)

Velo, M.^a, Martínez, J.^b y Mosqueira, G.^c

^aÁrea de calidad de las aguas, Augas de Galicia, Plaza de Camilo Díaz Valiño 7/9, 15704, Santiago de Compostela, monica.velo.cid@xunta.gal.

^bFundación Nueva Cultura del Agua, julia@fnca.eu. ^c Gerencia, Augas de Galicia, Plaza de Camilo Díaz Valiño 7/9, 15704, Santiago de Compostela, gonzalo.mosqueira.martinez@xunta.gal

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

El agua es un recurso limitado e insustituible que es clave para el bienestar humano y solo funciona como recurso renovable si está bien gestionado. El poder asegurar a largo plazo un equilibrio adecuado entre su uso económico, su función ambiental y su valor social obliga a que la gestión del agua se realice bajo los principios de la sostenibilidad. En el caso de la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa no existen experiencias que hayan abordado de forma integrada la definición de unos indicadores de sostenibilidad hídrica. En este sentido, este estudio supone una primera aproximación y se ha centrado en la comarca de O Salnés por reunir una serie de aspectos que influyen de manera muy directa sobre el medio hídrico y que se deben de tener muy presentes a la hora de gestionar de forma sostenible los recursos hídricos, tales como un elevado dinamismo económico y demográfico.

Primeramente se realizó un diagnóstico integral de la zona mediante la matriz FPEIR con el objeto de identificar de los principales problemas relacionados con la sostenibilidad hídrica. A continuación se aplicó el enfoque IDIS, lo cual permitió una definición jerárquica de objetivos de sostenibilidad y la selección de indicadores más apropiados desde los puntos de vista ambiental, socioeconómico e institucional. Por último se llevó a cabo la aplicación del sistema de indicadores propuesto, en los casos en los que fue posible, y se realizó una evaluación integrada de los mismos para hacer una primera valoración de la sostenibilidad hídrica en la zona de estudio. Como resultado se obtuvieron 60 indicadores de los cuales, 9 se corresponden con indicadores socioeconómicos, 23 con ambientales y los 28 restantes con indicadores de tipo institucional y de gobernanza, de los cuales no se dispuso de información en aproximadamente un 20% de los mismos, siendo el aspecto institucional y de gobernanza el más afectado en este sentido. Una vez aplicado el sistema de indicadores, y en base a la información disponible para la realización de este trabajo, se puede concluir que la comarca de O Salnés actualmente es sostenible desde el punto de vista hídrico. Esta conclusión sería un primer avance puesto que un futuro sería interesante completar y mejorar la información pendiente así como redefinir los indicadores y establecer, en su caso, los más apropiados en base a las carencias detectadas.

Control de la explotación de colectores en relación con los impactos sobre las masas de agua

Alberto Villa Miguel

Ingeniero Caminos C. y .P.
 Consorcio de Aguas para el Abastecimiento y Saneamiento de Asturias. C/Santa Susana Nº 15
 33015 Oviedo. E-mail: avilla@consorcioaa.com

Línea temática | M. Monográfico.

RESUMEN

El Consorcio de Aguas de Asturias, administración de carácter local, gestiona la explotación y mantenimiento de las infraestructuras de saneamiento de interés general que le han sido encomendadas por el Principado de Asturias, realizando la citada gestión de forma indirecta mediante la contratación con empresas privadas. Desde hace nueve años a través de un SCADA de control de explotación que se ha implantado progresivamente en más de doscientas instalaciones se tiene un sistema cuyos objetivos son detectar y registrar de forma automática los episodios de alivio de las instalaciones sobre las distintas masas de agua, vincular los citados episodios con las condiciones meteorológicas, centralizando y custodiando la información histórica, todo ello para dar cumplimiento a las autorizaciones de vertidos a dominio público; integrando otra información relevante de la operativa de las instalaciones. EL sistema SCADA se basa en una aplicación gratuita ZEUS WEB de la empresa Microcom, con un coste medio de 3.000 € por instalación y está formado por un servidor central que gestiona la comunicación con los equipos de telemetría mediante GPRS y los vuelca a una base de datos: unas estaciones remotas situadas en las instalaciones que permiten lecturas de entradas analógicas y digitales, almacenan temporalmente, tratan localmente, permiten cálculos y transmiten la información al centro de control; teniendo las empresas explotadoras la posibilidad de realizar la gestión de alarmas a través de este sistema.

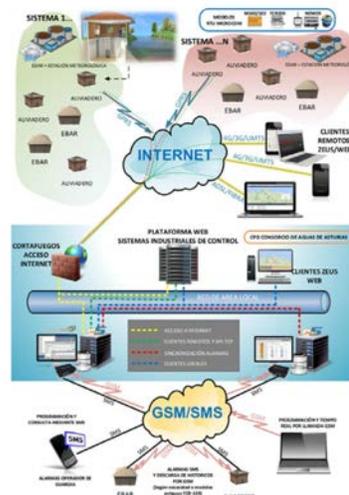


Figura 1 | Esquema general de comunicaciones del centro ZEUS5 WEB en el Centro de Datos

La información a transmitir y que es controlada, se compone de variables digitales como desborde de aliviadero, marcha de bomba, fallo de tensión general o al equipos, selector de mantenimiento, fallo de bomba, lluvia fuerte y variables analógicas como el nivel de agua, nivel de pozo de bombas, posición de compuerta, caudal o concentración de sulfhídrico. Además se permite la integración de otros datos calculados como caudal medio, volumen...

En general se aprovecha la instrumentación que pueda tener la instalación para su funcionamiento, compartiendo la lectura con los PLC a través de duplicadores de lazo; utilizando también una red propia de estaciones meteorológicas ubicadas en las EDAR donde tributa el sistema de colectores o pluviómetros instalados en las instalaciones.

Las señales analógicas se registran con una determinada frecuencia preestablecida, o siempre que se varíe un porcentaje determinado.

Además de tener un control sobre la explotación de los colectores, externamente a las empresas explotadoras, permite generar una serie de informes que sirven para evaluar los vertidos/alivios en función de la climatología, con detalles de las horas, duración, que permite identificar la afección que está causando los vertidos/alivios sobre las masas de agua.

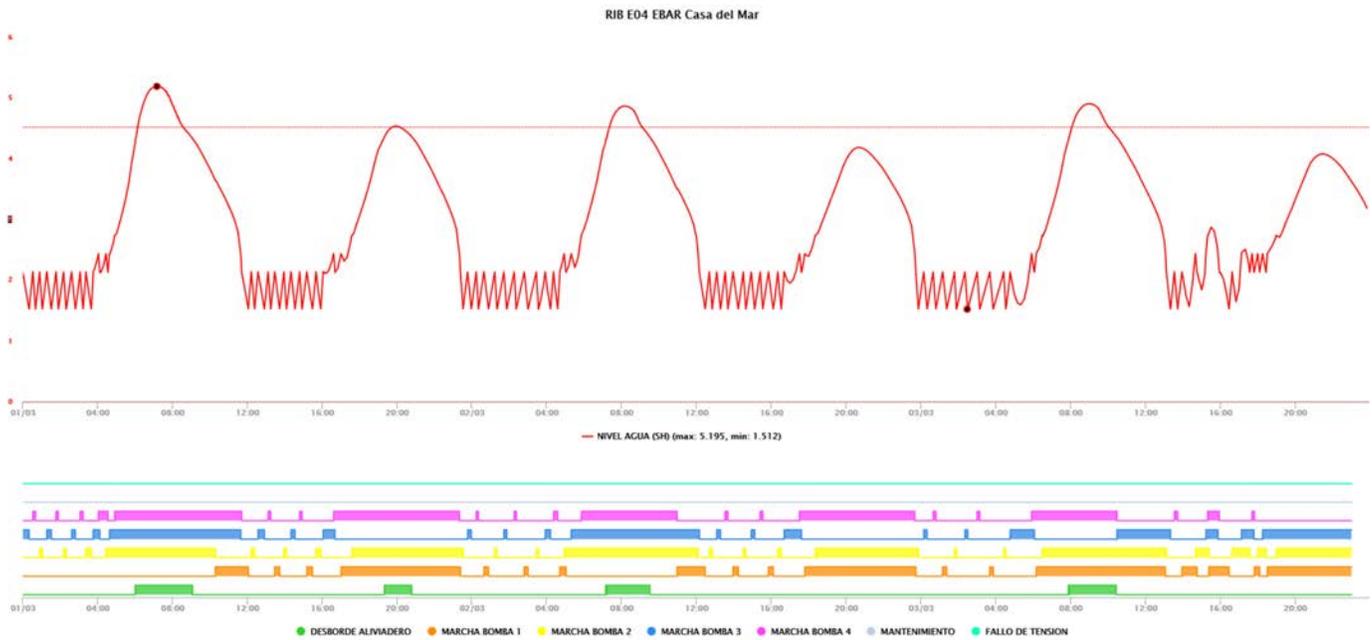


Figura 2 | Gráfica de ejemplo de una estación de bombeo

Estacion	Fecha	Hora	Descripcion	Precipitaciones (mm)	Bombeo funcionando máxima capacidad (si/no)	Comentarios	Tiempo total de alivios
RIB E03 EBAR El Muellín	01/03/2017	6:53:51	ALIVIANDO (DIGITAL). Valor en el canal DESBORDE ALIVIADERO = 1.00	0	si	Marea > 4m	2:05:53
RIB E03 EBAR El Muellín	01/03/2017	6:55:19	ALIVIANDO. Valor en el canal NIVEL AGUA (SH) = 5.50m				
RIB E03 EBAR El Muellín	01/03/2017	8:59:44	Restaurado ALIVIANDO (DIGITAL). Valor en el canal DESBORDE ALIVIADERO = 0.00				
RIB E03 EBAR El Muellín	01/03/2017	9:11:20	Restaurado ALIVIANDO. Valor en el canal NIVEL AGUA (SH) = 5.20m				

Figura 3 | Informe tipo sobre resultados de estación de bombeo

REFERENCIAS

Especificaciones Técnicas para la integración de equipos y señales en la plataforma de control de la explotación. Sistema de Control de Alivios. Consorcio de Aguas. Servicio de Telemática. Año 2017

Promueve:



Fundación
para el Fomento
de la Ingeniería
del Agua

Organiza:



**Grupo de Ingeniería
del Agua y del
Medio Ambiente**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ISBN: 978-84-9749-670-4



www.geama.org/jia2017