

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/228822195>

# Modelización hidrológica e hidráulica y sistemas de captación en cauces efímeros

Article · January 2009

CITATIONS

0

READS

709

9 authors, including:



[Luis G. Castillo](#)

Universidad Politécnica de Cartagena

95 PUBLICATIONS 535 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Optimization of bottom intake systems for semi-arid regions with high sediment transport. Definition of design parameters. Seneca Foundation of Región de Murcia (Spain) reference: 19490/PI/14 [View project](#)



Urban runoff and Pollutographs in sewer systems [View project](#)

# Modelización hidrológica e hidráulica y sistemas de captación en cauces efímeros

Maria Dolores Marín Martín, Luis G. Castillo Elsitdié  
Grupo I+D+i Hidr@m - [www.upct.es/hidrom](http://www.upct.es/hidrom)  
Ingeniería Hidráulica, Marítima y Medio Ambiental, UPCT.  
Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena (Murcia)  
E-mail: [alisa282@gmail.com](mailto:alisa282@gmail.com), [luis.castillo@upct.es](mailto:luis.castillo@upct.es)

**Resumen.** Uno de los efectos más directos del cambio climático es el hecho de que llueve con menor frecuencia y con mayor intensidad, lo que provoca la aparición de un mayor número de episodios de flujos torrenciales. En este artículo se describen los trabajos, y metodologías que se pretenden emplear en la modelización hidrológica e hidráulica, para el diseño de elementos de captación en cauces efímeros.

## 1 Introducción

Las zonas semiáridas se caracterizan por contar con una pluviometría irregular, lo que confiere entre otras características una cobertura vegetal reducida o casi ausente.

El cambio climático está provocando un efecto directo sobre la frecuencia e intensidad de la precipitación, de manera que actualmente en estas zonas se producen lluvias más intensas y menos frecuentes.

Si conjugamos estos dos elementos, lluvias torrenciales y zonas potencialmente erosionables, se explica la existencia de flujos torrenciales cada vez más acusados en las regiones semiáridas.

El estudio de sistemas de captaciones específicos para regiones semiáridas se justifica principalmente por tres motivos. Por una parte los flujos torrenciales no pueden captarse con los sistemas habituales empleados como presas o embalses, pues dado el alto transporte de sedimentos que arrastran quedarían inutilizables en poco tiempo. En segundo lugar con este tipo de estructuras se conseguiría minimizar los efectos destructivos que tienen los flujos torrenciales. Y por último, pero no por ello menos importante, la captación de un recurso tan importante y escaso en estas regiones como el agua.

Encontramos en España algunas experiencias del estudio y diseño de sistemas de captación, como el existente en el barranco de las Angustias sito en la Isla de la Palma (Canarias). Teniendo en cuenta la problemática, y basándonos en los principales resultados que de estos estudios se ha publicado (Castillo et al., 2000, 2000 b, Castillo, 2004), se pretenden obtener la generalización de parámetros de diseño para sistemas de captación en zonas semiáridas.

Para llegar al análisis de los parámetros de diseño de los posibles sistemas de captación, se han de realizar una serie de trabajos como son: Caracterizar los procesos geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos en las regiones semiáridas a diferente escala temporal y espacial; evaluar las diferentes formulaciones de transporte de sedimentos, seleccionando los más adecuados para las regiones semiáridas; evaluar las diferentes formulaciones para la caracterización de los coeficientes de rugosidad y macrorugosidad en el cauce, seleccionando las más adecuadas y considerando su acoplamiento con las formulaciones de transporte de sedimentos.

## 2 Modelos hidrológicos

Con objeto de poder llevar a acabo la adecuada caracterización de tipo geomorfológico, hidrológico e hidráulico en las regiones semiáridas, se analizarán las cuencas y tramos de cauces, en función de las posibilidades de captación y almacenamiento, así como la facilidad de instalar la instrumentalización adecuada y poder realizar medidas directas de los diferentes eventos, seleccionando las más idóneas como cuencas piloto.

Para su selección se tendrá en cuenta, también, la información histórica existente, tal como registro de caudales, avenidas históricas, precipitaciones máximas, etc., de manera que permita efectuar la calibración de los modelos hidrológicos e hidráulicos.

En un primer análisis, se hará el estudio mediante el modelo agregado y de eventos HEC-HMS desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers, con la extensión HEC-GeoHMS, lo que nos permite conectar con los sistemas de información geográfica tales como ArcGIS (HEC-HMS User's Manual, 2008 y HEC-GeoHMS11 User's Manual, 2003).

En la Fig. 1, a modo de ejemplo, se pueden ver los hidrogramas de avenidas que se obtuvieron en el

“Estudio de inundabilidad de la zona norte de la confluencia de las ramblas de Los Dolores y Los Barreros con la de Benipila y estudio de soluciones” (Castillo, 2007), utilizando el programa HEC-HMS.

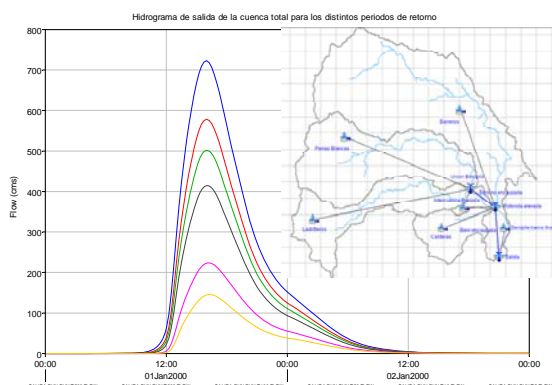


Figura 1. Salida del programa HEC-HMS. Hidrogramas calculados en la cuenca de Benipila.

Posteriormente, se analizará la cuenca aplicando un modelo de tipo distribuido, físicamente basado, para lo que se utilizará el programa MIKE-SHE (ver Fig. 2), aplicación desarrollada por el Danish Hydraulic Institute (Dinamarca).

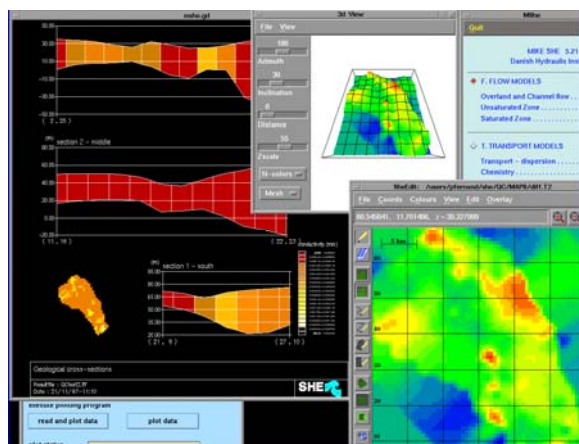


Figura 2. Salidas gráficas del programa MIKE-SHE.

Como conclusión de esta fase de modelización hidrológica, los resultados obtenidos por ambos modelos se contrastarán y analizarán la equivalencia de los diferentes parámetros y qué tipo de información resulta más relevante, así como el nivel de detalle necesario para una adecuada caracterización de las cuencas en las zonas semiáridas.

### 3 Cálculo del caudal dominante, coeficientes de rugosidad y transporte de sedimentos

Una vez caracterizado el proceso hidrológico en las cuencas semiáridas, será necesario calcular el transporte de sedimentos. Para lo que se tendrán en cuenta los siguientes conceptos.

Según Wan y Wang (1994) y acuerdo con la concentración volumétrica de sedimentos y la pendiente longitudinal del tramo de cauce, los flujos se pueden clasificar como hiperconcentrados o de barros y escombros (mudflow). En las regiones semiáridas usualmente se suelen presentar flujos hiperconcentrados.

El transporte se puede dividir en carga de lavado “wash load” que comprende material muy fino y se transporta exclusivamente en suspensión, y la carga de material de fondo “bed load” que se transporta por el fondo y también en suspensión, dependiendo del tamaño del sedimento y de la velocidad del flujo.

Dado que es el transporte de sedimentos de fondo quien define el cauce, se define como **caudal dominante** a aquel que fluyendo como caudal constante todo el año transportaría el mismo volumen de sedimentos de fondo total. En general, el caudal dominante corresponde con la máxima avenida ordinaria, es decir, a una avenida con un período de retorno entre 1 y 2 años (Richards, 1982). Sin embargo, en el caso de ríos torrenciales e inestables desde el punto de vista hidrológico, el caudal dominante podría incluso llegar a corresponder a un período de retorno de 7 años, tal como ocurre en algunos ríos mediterráneos (Martín Vide, 1997).

Para las cuencas piloto se obtendrán los caudales dominantes, siguiendo la metodología utilizada en el barranco de las Angustias, y que se puede ver en la Fig. 3 (Castillo et al., 2000).

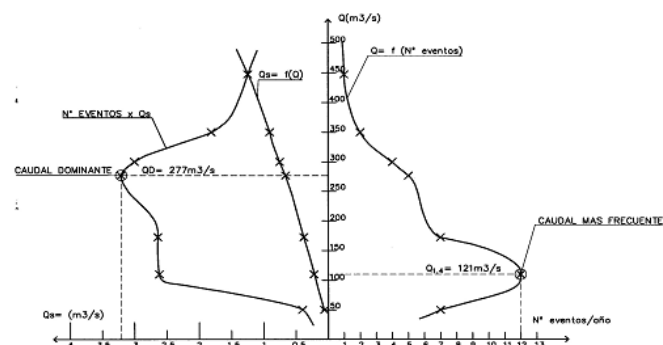


Figura 3. Caudal dominante. Barranco de las Angustias (Caldera de Taburiente, Isla de la Palma).

Para caracterizar adecuadamente este tipo de flujos hiperconcentrados se establecerán las formulaciones de transporte de sedimentos que acopladas a las formulaciones de macrorugosidad se consideren las más adecuadas. Se seguirá la metodología establecida y aplicada en el Barranco de las Angustias ya descrita (Castillo 2004, 2007). En ella se calcula el coeficiente de resistencia mediante varias formulaciones al uso y se analiza los resultados obtenidos (ver Fig. 4).

Seguidamente se calculará el transporte de sedimentos de acuerdo con las formulaciones que

mejor se puedan aplicar a este tipo de casos, analizándose los resultados obtenidos (ver Fig. 5 y 6).

Para la evaluación de las diferentes formulaciones de transporte de sedimentos y de los coeficientes de resistencia, básicamente se requiere dos tipos de información. Una de tipo granulométrico del material del lecho del cauce como son los diámetros

característicos, y otra de tipo hidráulico a través de las características del flujo. Una vez evaluadas las diferentes formulaciones se seleccionarán aquellas que se demuestren más adecuadas y se aplicarán a la cuenca piloto. Con ello se calcularán para cada periodo de retorno diferentes hidrogramas y sedimentogramas.

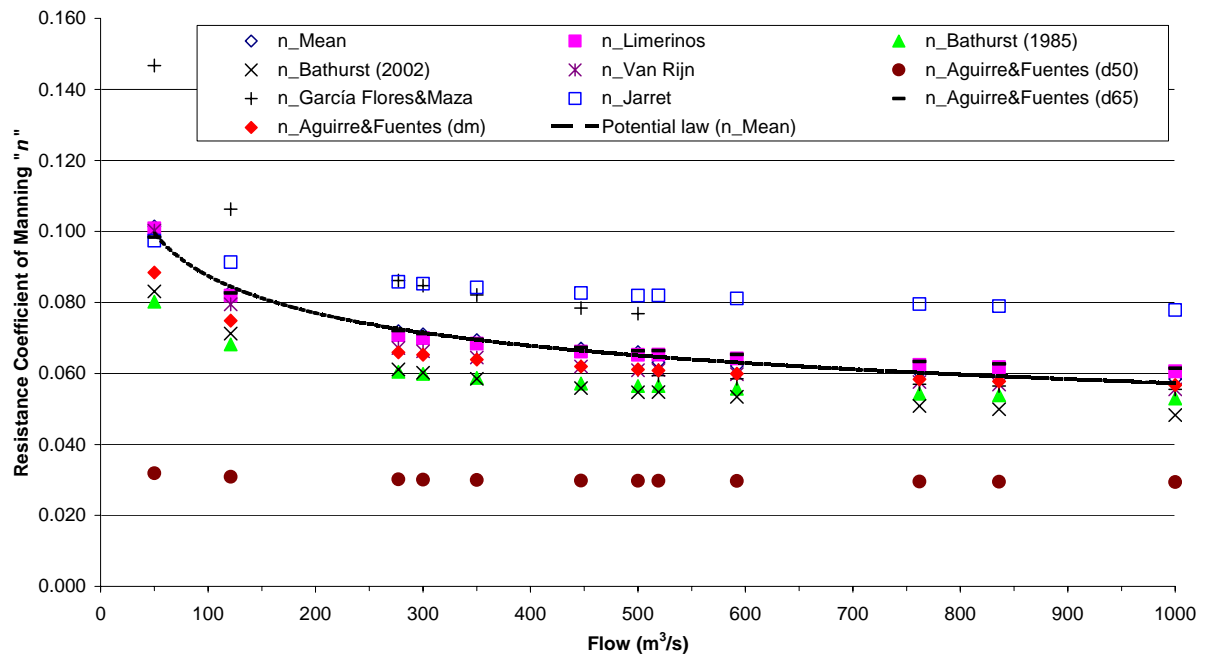


Figura 4. Coeficiente de resistencia de Manning  $n$  en función del caudal. Barranco de las Angustias (Isla de la Palma).

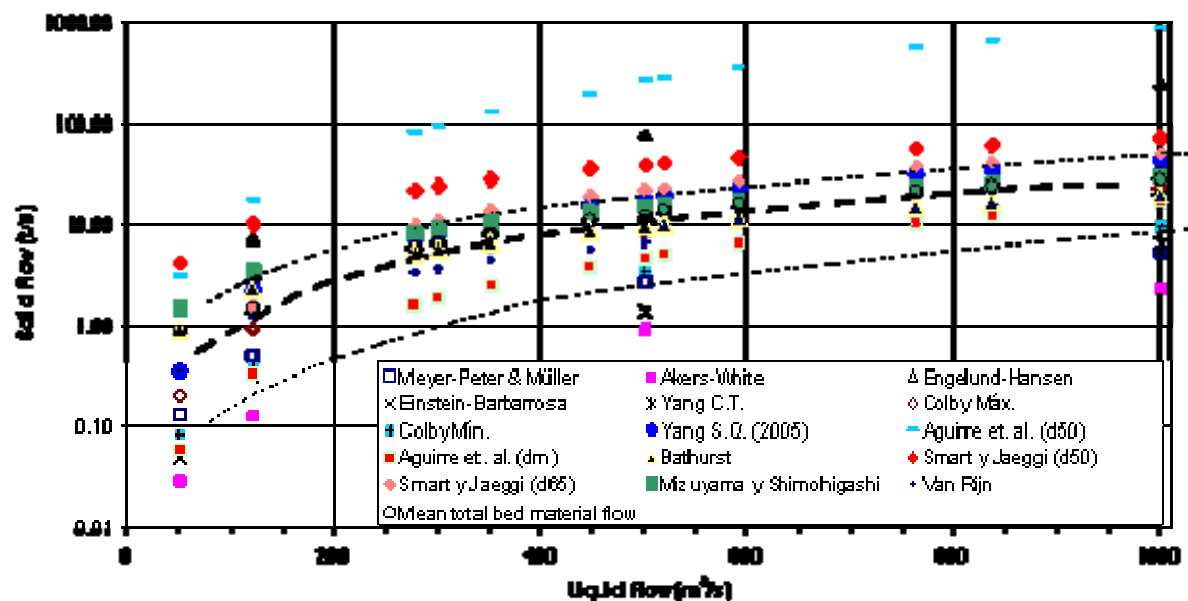


Figura 5. Caudal sólido en función del caudal líquido, calculado con diversas formulaciones de transporte de sedimentos. Barranco de las Angustias (Isla de la Palma).

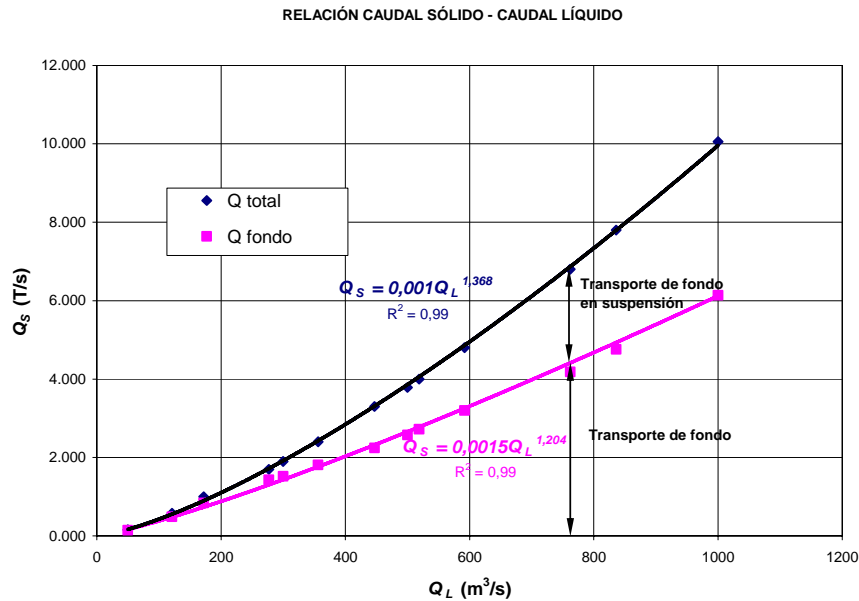


Figura 6. Transporte de fondo y transporte de fondo en suspensión. Barranco de las Angustias (Isla de la Palma).

## 6 Estudio de los sistemas de captación

Basándonos en los diseños de sistemas de captación que existen en el barranco de las Angustias (Fig. 7), y en la experiencia internacional de países como Alemania, Suiza, ex Unión Soviética, etc. en la captación de caudales de ríos de montaña mediante obras llamadas Tomas Tiroleras o Caucasianas (Fig. 8), el sistema de captación a diseñar tendría que contar con los siguientes elementos:

- Azud o vertedero de pequeña altura con sistemas de rejilla de fondo y cámara de recolección.
- Canal lateral de recolección.
- Decantador de doble cámara vertical
- Balsa de almacenamiento
- Encauzamiento del cauce

Como la información que existe se ha establecido en modelos hidráulicos de captación de ríos de montaña con moderado transporte de sedimentos y pequeños caudales de captación, seguidamente se comprobará si alguno de estos diseños es idóneo para el caso flujos hiperconcentrados y qué modificaciones será necesario realizar.

Se comprobará teórica y experimentalmente los parámetros de diseño y sus rangos de validez, y se propondrán mejoras en los métodos de diseño para ampliar los rangos de caudales de captación.

Es imprescindible para ello establecer los volúmenes de captación de manera que el nivel de garantía sea suficiente, para lo se tendrá que analizar la interrelación hidrológica e hidráulica de la captación.

Todo ello se comprobará mediante modelos numéricos y modelos físicos reducidos. En cuanto a los modelos numéricos se analizarán dos tipos: tipo Euleriano (FLUENT, CFX) o Lagrangiano (SPH).

Para la calibración de los diferentes variables de cálculo y la estandarización de los diferentes parámetros de diseño de la captación, será necesario construir modelos físicos reducidos a diferente escala, con los cuales se analizará principalmente, el comportamiento de los sistemas de desbaste (rejillas), canal de alta velocidad, desarenador y la zona de encauzamiento.



Figura 7. Tomadero de Dos Aguas (Isla de la Palma).

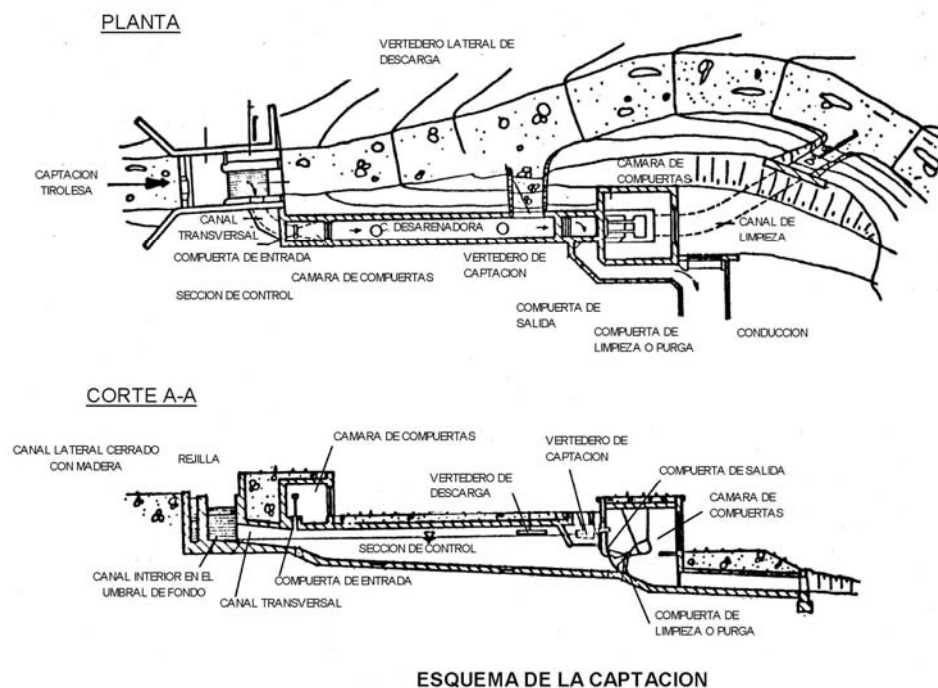


Fig.8 Sistema de captación tipo Tirolés. Adaptado desde Drobir (1981).

## Agradecimientos

Este Proyecto de investigación está financiado por la Dirección General de Universidades y Política Científica de la Región de Murcia - Instituto Euromediterráneo del Agua, IEA. Convenio 2602/09-C/ITF.

## Referencias

- [1] Castillo,L., Santos,F., Ojeda,J., Calderón,P., Medina,J.M. *Estimación de los coeficientes de resistencia, transporte de sedimentos y caudal dominante en el diseño de un encauzamiento con flujo hiperconcentrado*. V Jornadas sobre encauzamientos fluviales, CEDEX, Madrid, (2000a).
- [2] Castillo,L., Santos,F., Ojeda,J., Calderón,P., Medina,J.M. *Importancia del muestreo y limitaciones de las formulaciones existentes en el cálculo del transporte de sedimentos*. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. International Association for Hydraulic Engineering and Research, IAHR. Córdoba, Argentina, (2000b).
- [3] Castillo, L. *Estimation of sediment transport and dominant flow in hyperconcentrated flow*. The 6th International Conference on Hydrosience and Engineering (ICHE-2004). International Association of Hydraulic Engineering and Research IAHR, ASCE Environment and Water Resources Institute, The University of Mississippi. National Center for Computational Hydrosience and Engineering, CD ROM, Brisbane, Australia, June, (2004).
- [4] Castillo, L. *Discussion about Prediction of bed material discharge*. Journal of Hydraulic Research, Vol.45, No.2, pp. 425-428, (2007).
- [5] Danish Hydraulic Institute. *MIKE SHE*. User Manual, (2008).
- [6] Drobir Helmut. *Entwurf von Wasserfassungen im Hochgebirge*. Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 33, Heft 11/12, (1981).  
Traducción: Castro Delgado M. *Diseño de captaciones en ríos de montaña*. POLITECNICA, Vol. VII. Nº 1. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador, (1982).
- [7] Martín Vide, J.P. *Ingeniería Fluvial*. Politéx. Area d'Enginyeria Civil. Ed UPC. Barcelona. . ISBN: 978-84-8301-900-9, (1997).
- [8] US Army Corps of Engineers. *Hydrologic Modeling System. HEC-HMS*. User's Manual. Version 3.3, (2008).
- [9] US Army Corps of Engineers. *Geospatial Hydrologic Modeling Extension. HEC-GeoHMS*. User's Manual. Version 1.1, (2003).
- [6] Wan, Z., Wang, Z. *Hyperconcentrated Flow*. I.A.H.R. Monograph Series, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, (1994).