

Propuesta de cálculo de la VID en un entorno urbano y plano con un modelo de cálculo simultáneo hidrológico distribuido e hidráulico bidimensional

Enrique Campos, Martín Rodríguez, Silvia Cordero, Sonsoles González, Amparo Moreno, Lorena Martínez, Vicente Bertolín, Luis Altarejos, Pablo Pérez, Elena Martínez

CHJ, Inclam, Intercontrol, CPS, Tragsatec

EnriqueVicente.Campos@chj.es, martin.rodriguez@inclam.com, silvia.cordero@inclam.com, sonsoles.gonzalez@inclam.com, amoreno@intercontrol.es, ybertolin@intercontrol.es, l.martinez@cpsingenieros.net, altarejos@cpsingenieros.net, pperez8@tragsa.es, elena.martinez@inclam.com

1 Resumen

Según el REAL DECRETO 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, “Se entiende por vía de intenso desagüe la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. La sobreelevación anterior podrá, a criterio del organismo de cuenca, reducirse hasta 0,1 m cuando el incremento de la inundación pueda producir graves perjuicios o aumentarse hasta 0,5 m en zonas rurales o cuando el incremento de la inundación produzca daños reducidos”.

La caracterización de las zonas inundables de Alginet se realizó mediante la aplicación de un modelo hidrológico distribuido e hidráulico bidimensional integrados. Para la determinación de la Vía de Intenso desagüe (en adelante VID) en los términos que indica el RD 9/2008 la metodología habitual es simular un encauzamiento con muros en la vía de desagüe propuesta a priori como VID y comprobar las sobreelevaciones producidas comparadas con el estado actual. Este método no es posible aplicarlo en el modelo de cálculo empleado para el diagnóstico de la situación actual ya que los muros impiden las entradas y salidas del flujo que no es posible discretizar sin modificar significativamente los caudales y por tanto la base comparativa de niveles.

Tras probar varios métodos se ha simulado elevando el terreno exterior a la VID propuesta. Con esto se consigue que la aportación de caudal sea la misma. En cuanto a las salidas, la zona delimitada incluye un balance similar al del estado actual, es decir que únicamente se permiten pérdidas no significativas. Los resultados obtenidos son técnicamente correctos para la planificación territorial.

2 Introducción y objeto del estudio

Alginet se ubica en las estribaciones de la sierra de la Falaguera extendiéndose hasta los marjales ribereños de La Albufera de Valencia. El casco urbano se sitúa en la confluencia de 3 barrancos (El Señor, El Agua y Forca) y además recibe la aportación de las escorrentías de la sierra y de los flujos desbordados del barranco de la Belenguera. La carretera A-7 funciona como borde de 2 problemas distintos, aguas arriba, en el casco urbano, agravado por los problemas que el remanso del agua producido en la infraestructura deriva a las áreas de crecimiento urbano. Aguas abajo de la A-7, las pendientes son prácticamente nulas hasta llegar a los arrozales colindantes con el lago.

Tras un análisis de la zona y de los estudios antecedentes los condicionantes y criterios para el cálculo de la hidrología y de la hidráulica del ámbito del estudio fueron los siguientes:

- Hasta la cota por la que discurre el Canal Júcar Turia los cauces se encuentran definidos, aguas abajo de esta infraestructura y hasta a la A-7 hay tramos definidos, el entorno urbano encauzado y algunos tramos explanados para aprovechamiento agrícola. Esto dificulta el cálculo de caudales de aportación utilizando un modelo hidrológico semiagregado siendo necesario la utilización de modelos distribuidos.

- La distribución de flujos dentro del casco urbano, el análisis de escorrentías y del gran remanso provocada por las distintas obras de paso de la A-7 requerían una modelación hidráulica bidimensional.
- Aguas abajo de la A7 hasta llegar a la entrada del parque de la Albufera la zona es plana, sin cauces definidos ni apreciables en un área que supone la mitad de la cuenca. Para la definición de los caudales y simulación de los flujos de las escorrentías propias y de los que entran por las obras de drenaje de la autovía es necesario utilizar un modelo hidrológico distribuido y un modelo hidráulico distribuido que calcule de forma simultánea.

El módulo hidrológico calcula la escorrentía superficial por celda aplicando el método del S.C.S., por lo tanto es necesario disponer de una caracterización de la precipitación y una función de pérdidas del área a modelar. La primera se realiza a partir de la lluvia areal para cada uno de los periodos de retorno calculada a partir de los resultados de la aplicación de las leyes de frecuencia extremal a los datos de los pluviómetros del entorno y del hietograma tipo definido en el estudio pluviométrico y la segunda se define mediante el número de curva (NC) y la abstracción inicial. A partir de la escorrentía neta, el modulo hidrológico del Guad-2D calcula, en cada celda, la escorrentía acumulada.

El modulo hidráulico, en esta modelización conjunta, simula la translación del aporte de flujos introducidos aguas arriba del área modelizada al punto de desagüe de la cuenca conjuntamente con la escorrentía acumulada por celda. El modelo hidráulico, sobre una malla de cálculo no estructurada, resuelve las ecuaciones de Saint Venant por algoritmos numéricos en volúmenes finitos en cada paso de tiempo y aplicando los métodos progresivo y Godunov que aportan estabilidad al sistema. El programa empleado es el GUAD 2D desarrollado por la Cátedra de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza e Inclam, S.A.

Gracias a este tipo de simulación se han podido analizar los flujos que producen daños en el entorno de Alginet, identificar las zonas donde los barrancos desbordan y donde están recibiendo agua en el entorno urbano (agua de la escorrentía de la lluvia o de otros flujos desbordados), los hidrogramas de las distintas escorrentías, análisis de la circulación del agua por las calles de la zona urbana y valoración del grado de afección de cada uno de los elementos territoriales para la estimación de daños, identificación de que fase del fenómeno (desbordamiento de cauces o lluvia) causa los daños.

Se construyeron 3 modelos para la evaluación de la situación actual que modelan 156 km² de área, con 47 condiciones de entrada, 15 condiciones de salida y 130 puentes.

El objeto del estudio que se presenta en esta comunicación es determinar la Vía de Intenso desagüe (VID) para determinar la Zona de Flujo Preferente en los términos definidos en el REAL DECRETO 9/2008 teniendo en cuenta la singularidad de la metodología empleada en el diagnóstico de inundabilidad.

3 Datos

Los datos de partida son los modelos de cálculo hidrológico e hidráulico de forma simultánea y la zona donde se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes para la avenida de 100 años de periodo de retorno que según los criterios del *el* REAL DECRETO 9/2008, esto es, cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios: a) Que el calado sea superior a 1 m., b) Que la velocidad sea superior a 1 m/s, c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s.

La información base es la siguiente:

- Modelos digitales del terreno, de elevaciones y del terreno con edificios. Tamaño de malla 1mx1m (datos LiDAR PNOA), 5mx5m (PNOA) y ortofotografía digital
- Cobertura de usos del suelo (Corine Land Cover, 5 niveles)
- Cobertura de precipitaciones por periodos de retorno
- Hietograma
- Modelo hidrológico HEC-HMS construido hasta el paso por la A-7
- Croquis de puentes y estructuras
- Cobertura de la zona de graves daños

4 Procedimientos metodológicos

Como se ha indicado el modelo para el análisis de la situación actual realiza un cálculo simultáneo hidrológico distribuido e hidráulico bidimensional ya que la aplicación de modelos independientes, agregados e unidimensionales no era una hipótesis adecuada para realizar el cálculo. En este escenario el cálculo de la VID debía ser análogo para la posterior comparación con el diagnóstico del escenario actual.

Los condicionantes son los siguientes:

- La zona urbana es inundable, el flujo que circula por las calles procede de desbordamientos de los cauces y de la escorrentía de ladera y urbana pero separar los flujos no es posible ya que esa hipótesis incumple el objetivo del estudio. La delimitación de una primera VID se ha apoyado en la geomorfología y en el análisis de flujos.
- La zona de aguas abajo es plana. La zona inundable es prácticamente todo el área y con el análisis geomorfológico (ni en campo ni analizando pendientes y cotas de los Modelos Digitales del Terreno, de 1m de paso de malla y 0.15m de precisión altimétrica (LiDAR)) no fue posible determinar los flujos. Esta circulación de agua, apenas perceptible, se puede analizar a través de las velocidades calculadas con un modelo bidimensional y distinguir los flujos preferentes. Estas áreas fueron la base de la primera delimitación de VID en esta zona.
- Los modelos han de ser los mismos configurados para el escenario de Situación Actual para poder comparar resultados de niveles/calados y analizar las sobreelevaciones producidas.
 - o Modelo Alginet: tamaño de celda 4m
 - o Modelo Albufera: tamaño de celda 10m

El método para calcular la VID:

- Analizar los valores de calados y velocidades de los resultados de la simulación hidráulica de la avenida de 100 años.
- Estudiar la geomorfología del terreno.
- Definir el polígono de la vía de intenso desagüe.
- Configurar un nuevo escenario de simulación con el nuevo terreno. Normalmente se introducen dos muros longitudinales que constriñen el río, en nuestro caso no es viable ya que se impide la entrada de las escorrentías que se producen de forma casi continua. En el modelo aplicado a la situación actual poner muros significa eliminar el cálculo hidrológico e introducirlo de forma discreta modificando los caudales. La solución ha sido elevar el terreno que queda fuera de la VID 3,5m para que la escorrentía pueda entrar dentro de la VID. Para el cambio de escenario: VID se modifica el terreno de la simulación. Se eleva 3,5m el terreno exterior de la VID definida.
- Toda la zona protegida de la Albufera definida por el límite del parque se ha mantenido a la cota original para dar continuidad a los flujos y respetar la condición de contorno. Debido a su figura de protección se ha incluido en toda su extensión facilitando el cálculo hidráulico
- Al cambiar el terreno ha sido necesario adaptar las cotas de las obras de paso localizadas fuera de la VID.
- Volver a simular la avenida de 100 años de periodo de retorno con el nuevo terreno.
- Comprobar que cumple la condición de no producir sobreelevaciones de 0,3 m respecto a la cota de la lámina de agua resultante de esa misma avenida.
- Si no cumple la condición: nueva prueba y valoración de errores.

Para el cálculo hidráulico se empleó el grid de lluvias correspondiente al periodo de retorno de 100 años, hietograma de bloques alternantes y grid del número de curva. Siendo el modelo empleado para el cálculo el modelo GUAD 2D.

Los 2 modelos construidos para el diagnóstico de la situación actual con el evento correspondiente a la avenida de 100 años de periodo de retorno se volvieron a correr una vez introducido el nuevo terreno y los puentes fuera del entorno de la VID. A continuación se detallan las características principales de los 2 modelos construidos:

Tabla 1 Características principales de los modelos

| Modelo | Tramo estudiado | Nº celdas | Nº triángulos | Área total (km ²) | Lluvia | Nº C.E | Nº puentes | Nº C.S | C.I. | T simul (h) |
|----------|--|-----------|---------------|-------------------------------|--------|--------|------------|--------|-----------------------------------|-------------|
| Alginet | Desde el Canal Júcar-Turia hasta la carretera A-7. Incluye el núcleo urbano de Alginet | 2.020.320 | 640.922 | 12,92 | Sí | 9 | 27 | 3 | Inicio en seco | 24 |
| Albufera | Desde la carretera A7 hasta La Albufera y el mar | 2.673.845 | 512.556 | 138,40 | Sí | 26 | 66 | 2 | Grid de agua en La Albufera y mar | 48 |

Las siguientes imágenes muestran un ejemplo del nuevo terreno en el que se percibe la zona de VID significativamente hundida y otro ejemplo de los puentes que fue necesario encajar en el nuevo MDT.

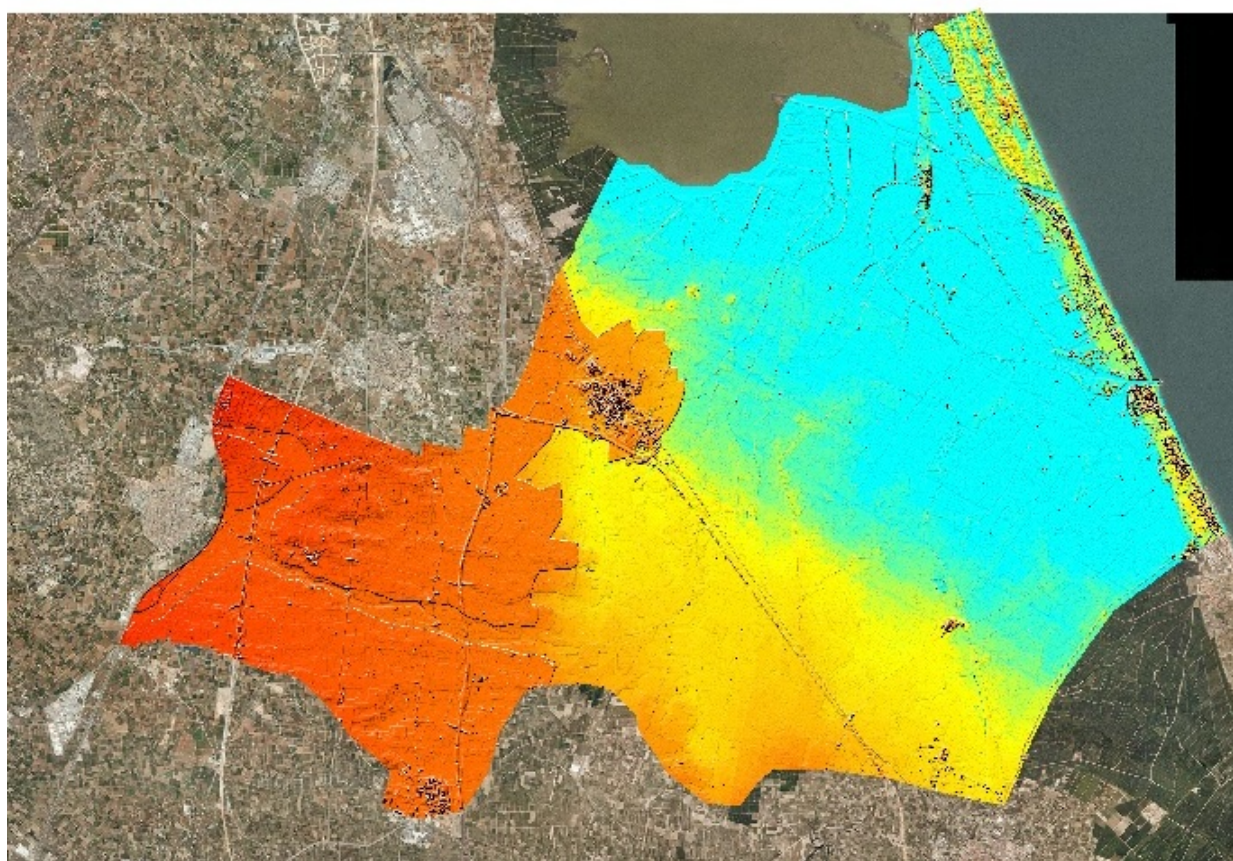


Figura 1 MDT con edificios modificado de modelo Albufera-VID sobre ortofografía del PNOA

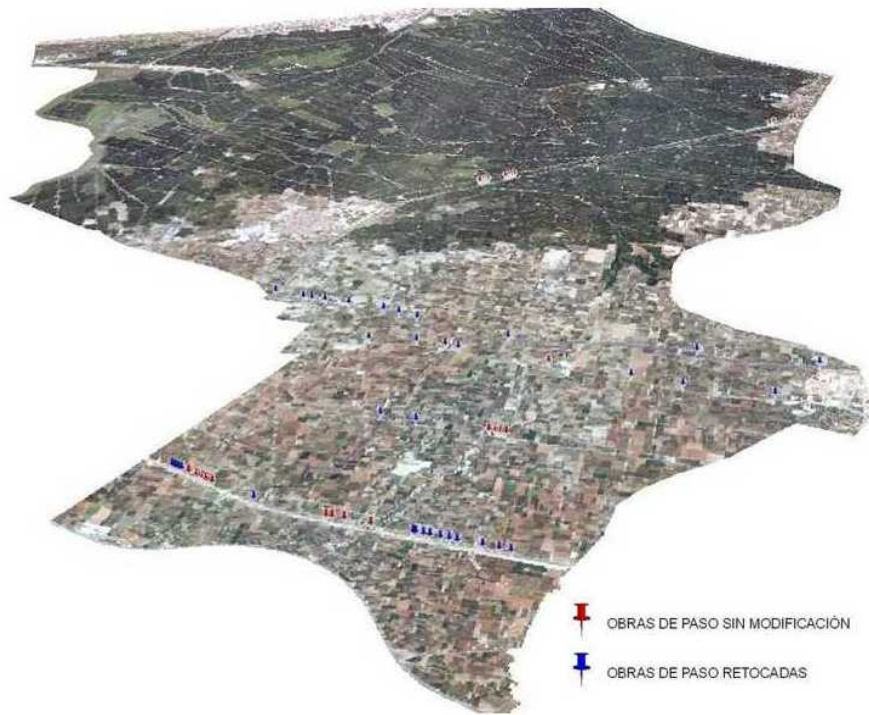


Figura 2 Vista 3D Infraestructuras modelo Albufera-VID sobre PNOA

5 Resultados

Una vez realizados los cálculos y varias pruebas se consiguieron los resultados óptimos para el cumplimiento del RD9/2008. El análisis de las velocidades ha sido fundamental en una zona tan plana.

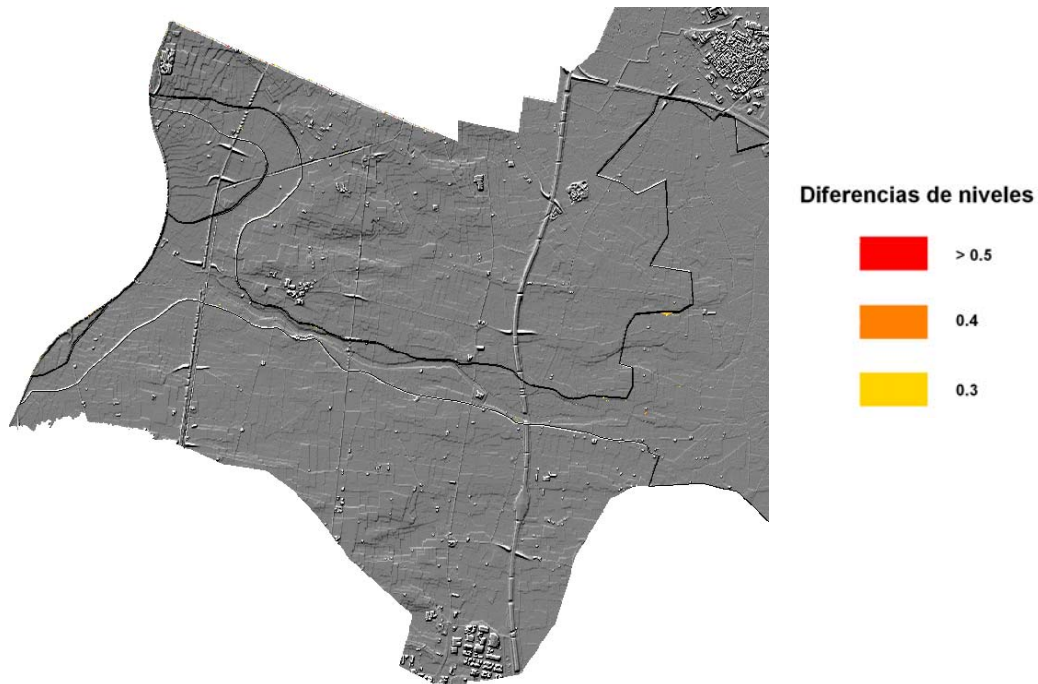


Figura 3 Incrementos de niveles en la VID

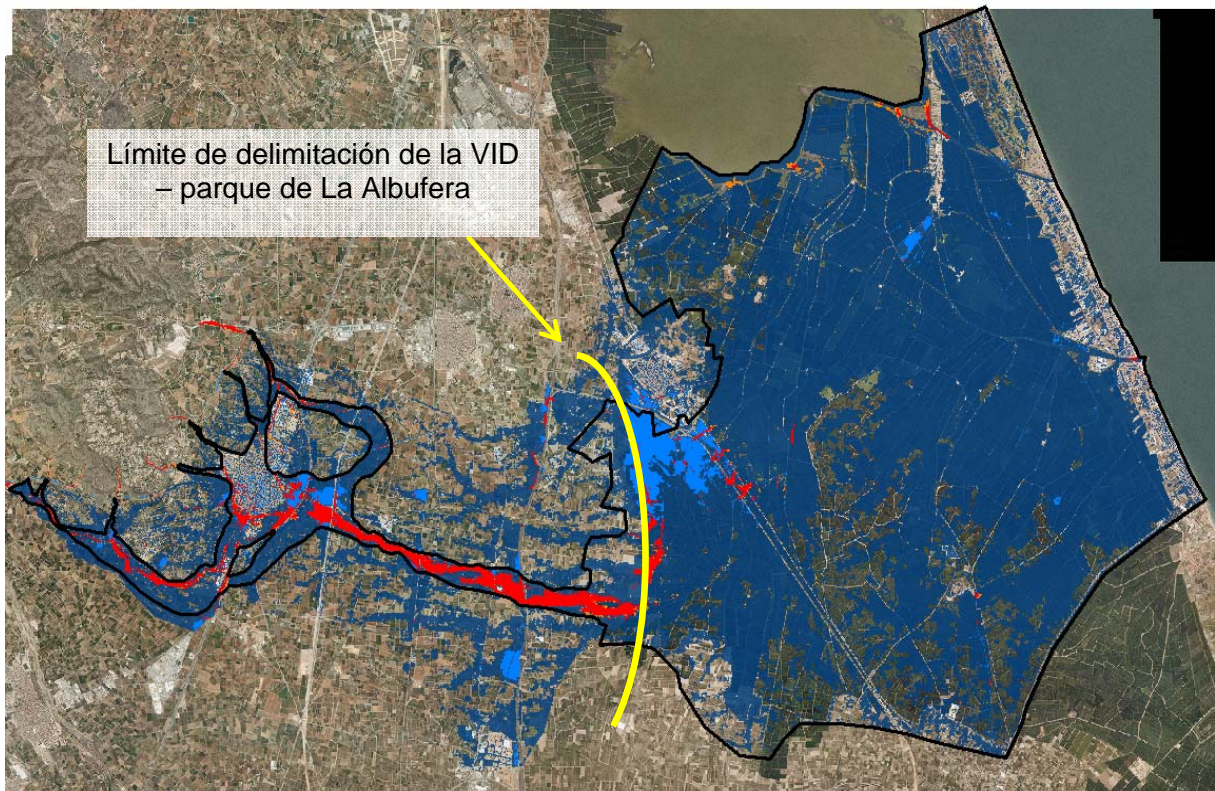


Figura 4 Zona inundable para Q_{100} en azul marino, zona de graves daños en rojo y azul claro, VID en negro y límite de la zona protegida de La Albufera en amarillo.

6 Consideraciones finales

La primera consideración es que tras el análisis de resultados se puede decir que la propuesta metodológica es válida para un cálculo efectuado con hipótesis semejantes. En zonas muy pequeñas y localizadas la velocidad y el calado se han elevado pero es debido a la propia metodología de cálculo. Por ejemplo todo el borde la VID funciona como una pared vertical que eleva las velocidades pero no hay que olvidar que esto no es un cálculo hidráulico de una obra, es un ejercicio de planificación y esas velocidades están implícitas en el método elegido.

Independientemente de la idoneidad o no del cálculo de la VID en una zona urbana, su inclusión en ella o no y los debates sobre las consecuencias legales que esto conlleva y que no es el objetivo de esta ponencia, el ejercicio de cálculo de la misma en una zona urbana afectada por varios torrentes y así como la dificultad de cálculo de en una zona llana donde los cauces no están definidos ha sido positivo tras varias pasadas del modelo para ajustar la VID. El siguiente paso es analizar las consecuencias legales así como la repercusión de su utilización como medida de prevención frente a inundaciones a través de la zonificación y ordenación territorial.

7 Referencias bibliográficas

DIRECTIVA 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a la EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIÓN.

REAL DECRETO 9/2008, de 11 de enero por el que se modifica el REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

REAL DECRETO 903/2010, de 9 de julio, DE EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIÓN.

VEN TE CHOW, Hidráulica de Canales abiertos, 1994

US ARMY CORPS OF ENGINEERS, HYDROLOGIC, Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual, March 2000

US ARMY CORPS OF ENGINEERS, HEC RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, November 2002

PLAN DE ACCIÓN TERRITORIAL DE CARÁCTER SECTORIAL SOBRE PREVENCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA COMUNIDAD VALENCIANA (PATRICOVA), Generalitat Valenciana, 2002.

PROYECTO DE ACTUACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIONES EN LOS BARRANCOS MENORES AFLUENTES A LA ALBUFERA (VALENCIA). BARRANCOS DE ALGINET, Confederación Hidrográfica del Júcar, octubre 1995.

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD POR EFECTO DE AVENIDAS. ALGINET (VALENCIA), del Ayuntamiento de Alginet, junio 2000.

JUAN P. MARTÍN VIDE, Ingeniería de ríos, 2007.

ESTUDIO DE DIMENSIONAMIENTO DE ACTUACIONES ESTRUCTURALES DE DEFENSA Y ZONIFICACIÓN DE LA LLANURA DE INUNDACIÓN DEL RÍO JÚCAR. Tomo I: Estudio hidrológico e hidráulico. Clave CEDEX 42-400-1-068. Abril 2006.

JUAN ANGEL MINTEGUI, RICARDO GARCÍA-DÍAZ, JOSÉ CARLOS ROBREDO, La caracterización del movimiento del agua en laderas, como instrumento de zonificación de los usos del suelo en cuencas de montaña, 2002.