

Estudio Hidrológico del río Arlanzón a su paso por el Término Municipal de Burgos

Iñigo OLEAGORDIA MONTAÑA, Rebeca RODRÍGUEZ GARCÍA, Joaquín NAVARRO HEVIA, Virginia del CASTILLO NOVO

U.D. de Hidráulica e Hidrología. E.T.S. Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid

RESUMEN

Para la ordenación del territorio en el Término Municipal de Burgos se necesita conocer el riesgo de inundación por las aguas de los ríos Arlanzón, Vena, Cardeñadizo y Ubierna. Por ello, se ha realizado un estudio hidrológico de la cuenca del Arlanzón partiendo de los datos de precipitaciones, cartografía referente a usos del suelo, edafología, geología y topografía, fotografías aéreas y secciones transversales levantadas en campo. Con esta información y con el apoyo de sistemas informáticos (AutoCAD, ArcView, HEC-HMS y HEC-RAS) se ha elaborado la cartografía de ocupación de las avenidas y de zonas de riesgo para diferentes periodos de retorno.

1.- INTRODUCCIÓN

Para la ordenación y planificación del territorio en áreas urbanas es de vital importancia conocer la ocupación de las aguas de los diferentes cursos fluviales que atraviesan las ciudades. De esta manera podremos ubicar las zonas residenciales, industriales, de recreo, campos deportivos y cultivos con el menor riesgo posible de daños por las inundaciones, avenidas o crecidas.

En la actualidad, con los modelos de simulación hidrometeorológicos es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que nos ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a nuestros ríos o, para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, tener alertados a nuestros servicios de protección civil y establecer unos protocolos de actuación en posibles situaciones de peligro por avenidas es algo que cualquier ayuntamiento debe desarrollar, según la *Norma Básica de Protección Civil* (Dueñas, 1997).

2.- OBJETIVOS

Los objetivos siguientes del presente estudio son:

1.- Servir de herramienta al Ayuntamiento de Burgos para la ordenación de su Término Municipal en base al diferente riesgo de sufrir inundaciones, el establecimiento de obras necesarias para mitigar los daños que las avenidas puedan ocasionar y alertar a los servicios de emergencia ante cualquier situación de peligro por avenidas.

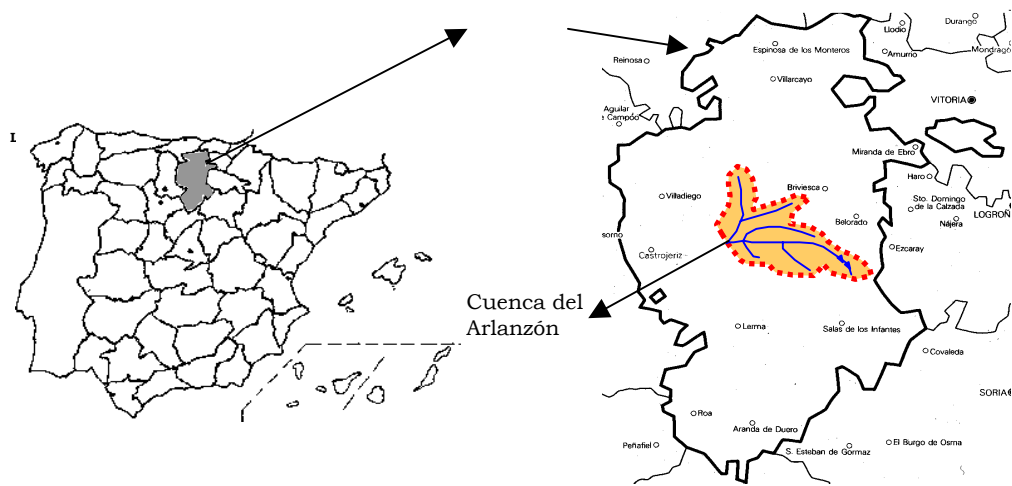
2.- Elaborar la cartografía de las zonas de inundación en el Término Municipal de Burgos a escala 1/5000 y la de riesgo de inundación a escala 1/10000.

3.- Establecer una serie de recomendaciones de los usos que deben otorgarse al suelo en función del riesgo que posea frente a las inundaciones.

3.- ZONA DE ESTUDIO

3.1.- Localización

La zona de estudio se encuentra al norte de la cuenca del Duero, en la provincia de Burgos (fig. 1).



Abarca una superficie de 1.050 km² y sus fronteras (cuena topográfica) suman 210´8 km. Corresponde a la cuena del río Arlanzón hasta que el río abandona el Término Municipal de Burgos.



Su punto más alto es el “Pico de San Millán” (2.132 m), nacedero del río que da nombre a la cuena a una altitud de 1.713 m, disminuyendo de cota hasta alcanzar los 840, correspondiéndose al municipio de Burgos Al poco de nacer, las aguas del Arlanzón son reguladas por los embalses de Arlanzón y de Urquiza, discurriendo después por los páramos burgaleses donde abre un amplio valle en el que los bosques son dominados por los cultivos. Los afluentes principales del Arlanzón que más influencia han tenido en la realización del estudio han sido el Vena, el Cardeñadizo y el Ubierna (fig. 2).

3.2.-Usos del suelo

Los diferentes tipos de vegetación en la cuena de estudio se han definido siguiendo la distribución de usos del Segundo Inventario Forestal Nacional (ICONA, 1994). Según el IFN la cuena presenta un 53´3% de terreno forestal, un 43´8% de cultivos y el resto, un 2´9% del total de la superficie de la cuena, lo constituyen las masas de agua (0´4%) y la zona urbana (2´5%).El terreno forestal arbolado se corresponde con la cabecera del río Arlanzón, algo de la cabecera del Vena y algunas manchas en las del Ubierna y del Rioseras.

3.3- Precipitaciones

Las precipitaciones anuales en toda la zona de estudio se hallan entre los valores mínimos de algo menos de 600 mm, Burgos capital, y un máximo próximo a los 900 mm, Pantano de Arlanzón. Siendo las precipitaciones más abundantes durante el invierno y la primavera, según los datos analizados de los 23 observatorios meteorológicos que poseen un registro de más de 5 años consecutivos (elegidos de entre los 102 que inicialmente se encontraban dentro o en la periferia de la cuena). Este periodo queda confirmado con los estudios analizados de García Fernández (1986), Buendía Moya (1988) y los datos de la DGPA (1987), que según

los cuales el periodo más desfavorable de lluvias, precipitaciones ligadas a las crecidas extraordinarias, es el comprendido entre noviembre y mayo, siendo extensible como mucho a los meses de octubre y junio.

Del estudio isoyetas-polígonos de Thiessen realizado para la cuenca de estudio se deduce que para un periodo de retorno (T) de 50 años el rango de precipitaciones máximas diarias oscila entre los 56 mm en la ciudad de Burgos y los 86 mm en la cabecera del Arlanzón, en la zona de los embalses. Para T = 100 años oscila entre 60 mm y 94 mm y para T = 500 años se sitúa entre los 70 mm en la capital y los 114 mm en la zona de los embalses.

3.4.- Caracterización hidrológica

Se ha realizado una caracterización hidrológica de la cuenca y de la división de ésta en 5 unidades hidrológicas que se muestran en la fig.3. (para el estudio hidrológico será necesario la división en 18 unidades hidrológicas.) Con los resultados obtenidos se concluye que, según el criterio de Lamas (1985), todas las subcuencas son pequeñas, excepto la cuenca total, la del Arlanzón, que es grande. Por el contrario, aplicando el criterio de Martínez de Azagra y Navarro Hevia (1996) todas las cuencas, sin excepción, serían grandes.

Con las curvas hipsométricas de las cuencas y los perfiles longitudinales de los ríos se ha podido afirmar que los relieves de las unidades hidrológicas no son acentuados.

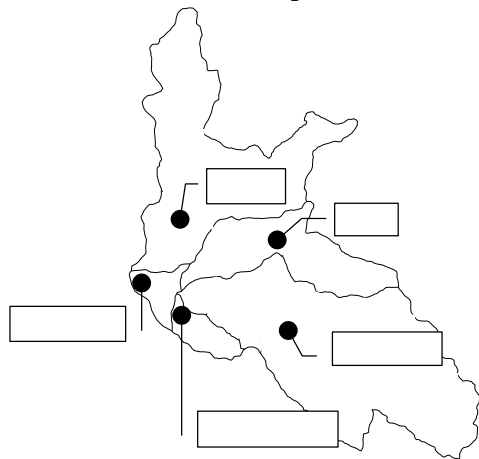


Figura 3: Unidades hidrológicas de la cuenca.

Del análisis de la red hidrológica se puede decir que la cuenca del Arlanzón presenta una muy baja densidad de drenaje ($<3-4 \text{ km/km}^2$, Strahler, 1986) formada por unas subcuencas muy homogéneas entre sí. Los ríos tienen un carácter no torrencial, con pendientes inferiores al 1'5% (Martín Vide, 2002) y, por lo tanto también inferiores al 2% (Meléndez y Fuster, 1997). Esto viene corroborado por los bajos valores de los parámetros de la densidad de drenaje y de los coeficientes de torrencialidad.

Los altos tiempos de concentración ($>>2-3$ horas, tomando valores entre 10 y 16'6 horas) que se presentan en toda la cuenca analizada permiten alertar a la población para poder evitar víctimas y minorar los daños ante las crecidas extraordinarias. Por el contrario en el río Cardeñadizo ($t_c \approx 4 \text{ h}$) las medidas de prevención deben exigirse en mayor medida.

4.- MATERIAL Y MÉTODOS

4.1.- Cartografía

La información cartográfica empleada en formato digital ha sido facilitada por la Junta de Castilla y León a través del Servicio de Cartoteca de la Universidad de Valladolid y la editada por el Instituto Geográfico Nacional, el Ministerio de Defensa, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, el Instituto para la Conservación de la Naturaleza, y la facilitada por el Ayuntamiento de Burgos. La cartografía empleada ha sido: topográfica en formato digital y papel (escalas 1/10.000, 1/50.000, 1/200.000), geológica y mapas de clases agrológicas (escalas 1/50.000, 1/200.000), usos del suelo del II Inventario Forestal Nacional (ICONA, 1994) en papel y digital (escala 1/50.000), cartografía digital del Término Municipal de Burgos (escala 1/1.000 y 1/5.000) y ortofotos de la mayor parte de la cuenca (escala 1/1.000).

4.2.- Estimación de las hipótesis de lluvia sobre la cuenca

La variable de cálculo para la lluvia más desfavorable ha sido la precipitación máxima diaria ($P_{m\acute{a}x, d}$). Esta elección se debe a que los intervalos de los datos de lluvia son diarios y a que del estudio realizado sobre los tipos de clima que afectan a esta parte de la cuenca del Duero podemos afirmar que las precipitaciones más fuertes son a causa de los tipos ciclónicos de componente sur y suroeste pudiendo durar más de un día y están asociadas a las estaciones de otoño-invierno-primavera (entre octubre-noviembre hasta, como mucho, mayo). Esta es la razón por la que no se tienen en cuenta las $P_{max,d}$ de julio y agosto; aunque para la cuenca del Cardeñadijo ($T_c = 4'46$ h) se incluyen las $P_{max,d}$ de julio y agosto (las lluvias son de carácter convectivo, de corta duración ($\ll 24$ h) y muy localizadas). La elección de este rango de meses para el cálculo de la $P_{max,d}$ ha sido confirmado con el estudio de los datos foronómicos de las 3 estaciones de aforo situadas en el Arlanzón (una a 10 km aguas abajo de la última sección de nuestro estudio y las otras dos en los embalses). De este estudio se deriva que el periodo con mayor frecuencia de riesgo aparente para la generación de avenidas es de enero a abril, extendiéndose hasta diciembre en los tramos más bajos de los ríos.

Tras el tratamiento de los datos comprados al Instituto Nacional de Meteorología (INM) y de la información recogida de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (DGINM, 2003), se concluye que es difícil que las $P_{max,d}$ superen los 60-70 mm y que la máxima diaria para el periodo de retorno de 500 años no es fácil que supere los 91 mm. De acuerdo con esto, estaríamos en una zona donde el riesgo de grandes precipitaciones (>100 mm diario) es bajo.

Con las series de las $P_{max,d}$ para cada estación pluviométrica se ajusta la ley de distribución de probabilidades, función de Gumbel. Con estos valores se obtienen las precipitaciones asociadas a distintos periodos de retorno y con ellas las isoyetas en la cuenca correspondientes a los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años. Junto con las isoyetas y apoyándonos en la construcción de los polígonos de Thiessen (fig. 5), tal como se explica en Hoggan (1997), se ha determinado la precipitación de cálculo en cada una de las 18 unidades hidrológicas, método de *isoyetas modificado*.

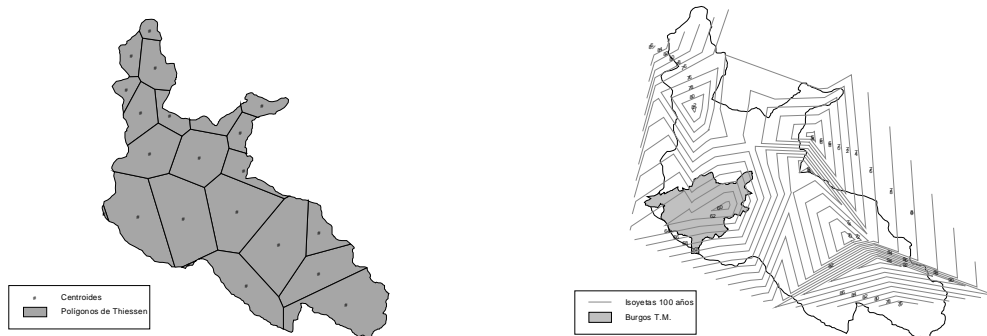


Figura 5: Polígonos de Thiessen e isoyetas para T=100 años.

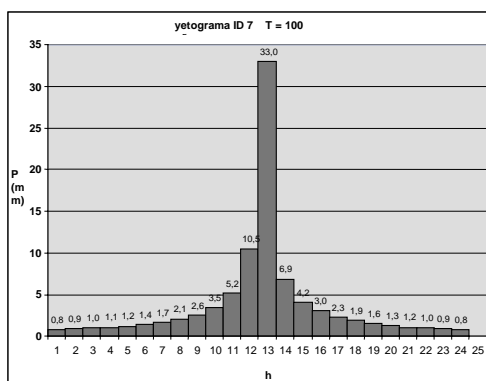


Figura 6: Yetograma para una unidad hidrológica

Una vez determinada la cantidad de lluvia esperada en cada una de las unidades hidrológicas se han calculado los pluviogramas mediante las curvas IDF propuestas por Témez (MOPU, 1987; Ferrer, 2000) para los tres periodos de retorno estudiados: 50, 100 y 500 años. Las precipitaciones obtenidas para intervalos de 1 hora se han ordenado con el criterio de bloques alternos tal como se explica en Montalbán *et al.* (2003) (fig. 6).

4.3.- Simulación y modelización hidrológica

La determinación de los caudales se ha realizado mediante la simulación hidrológica agregada de las 18 unidades hidrológicas en las que se ha dividido la cuenca de estudio (fig. 4.5). El paquete informático que hemos empleado para modelar la cuenca es la última versión disponible (mayo 2003) de *HEC-HMS* (“*HEC-Hydrologic Modeling System*”) (versión 2.2.2).

La estimación de la escorrentía (lluvia neta) se ha realizado con el método del “Número de Curva” (MOPU, 1987; Ponce, 1989; Martínez de Azagra y Navarro Hevia, 1996; Hoggan, 1997; Ferrer, 2000; Montalbán *et al.*, 2003). La escorrentía generada se transforma en caudal a partir de los hidrogramas de respuesta a los aguaceros de diseño empleando los métodos del hidrograma unitario triangular de Témez (M.O.P.U., 1987) y el hidrograma adimensional del S.C.S.(1972) (Ponce, 1987). Estos hidrogramas son agregados al caudal base de cada cauce.

El caudal base de cada río en cada una de las unidades hidrológicas se ha calculado mediante el ajuste de la relación caudal-superficie de toda la cuenca, elaborado a partir de los datos foronómicos de las tres estaciones existentes en el Arlanzón.

Una vez que el hidrograma se ha incorporado al caudal base se transmite a lo largo del cauce (laminación en el cauce) o de los embalses existentes en la cuenca. Se han definido 12 tramos de laminación en el río Arlanzón, uno en el Vena y otro en el Ubierna. Siguiendo las recomendaciones de HEC descritas en el manual de referencia técnica del programa HEC-HMS (Feldman, 2000, p. 96), la laminación en el cauce se ha realizado mediante el método Muskingum–Cunge aplicado en secciones transversales definidas con 8 puntos.

La geometría de las secciones transversales se ha definido mediante un perfil transversal elaborado con 8 puntos seleccionados del levantamiento topográfico. La longitud de cada tramo de laminación se ha deducido de la cartografía disponible. Los coeficientes de rugosidad de Manning (cauce y márgenes) se han fijado siguiendo las pautas descritas en el clásico manual de Chow (1982, p: 105-111).

Para la laminación en los embalses se ha supuesto que el embalse se encuentra lleno en el momento de la avenida. Esta situación en condiciones de finales del invierno y principios de primavera no es desestimable y es la que engendraría una avenida más grave sobre la ciudad de Burgos. Con el embalse lleno comienzan a funcionar con plena capacidad el aliviadero de superficie y los dos desagües de fondo. Con estas premisas, se obtiene la relación básica entre el caudal desaguado y el volumen de agua almacenado función que se ha introducido en HEC-HMS para definir adecuadamente la función de almacenamiento-caudal.

Con todos estos datos se han ejecutado nueve hipótesis de simulación, función del modelo seguido de trabajo (hidrograma unitario o hidrograma adimensional), con sus variaciones respectivas para la asignación del número de curva (método del SCS o método del MOPU para España), diferenciando dos condiciones de humedad edáficas (medias-II- y altas-III-) y, cada una de ellas, para los tres periodos de retorno $T = 50, 100$ y 500 años. Todo ello, ha generado 27 casos de simulación diferentes. El análisis de todos ellos revela que los caudales simulados con la hipótesis del hidrograma adimensional del S.C.S. son ligeramente mayores que los calculados por el hidrograma de Témez.

Hemos realizado la única calibración posible del modelo bajo la hipótesis *Hidrograma triangular unitario de Témez y número de curva en condiciones hidrológicas II (NII)*, calculado según el S.C.S. en la cabecera de la cuenca, concretamente en la unidad hidrológica 1 con los datos foronómicos del embalse de Arlanzón.

4.4.- Trabajos de campo

Para poder realizar las simulaciones hidrológica e hidráulica se necesita conocer la forma que tiene el cauce, la rugosidad que dificulta el paso de las aguas, así como cualquier tipo de

estructura que modifique el flujo. Para ello, ha sido necesario tomar los siguientes datos en campo:

- morfología de las secciones transversales más representativas de cada uno de los ríos (Arlanzón, Vena, Ubierna y Cardeñadizo), levantamiento topográfico. Se han levantado un total de 5 secciones hidrológicas (1 en el río Ubierna y 4 en el Arlanzón), con 5 estacionamientos diferentes, y 97 secciones hidráulicas (44 en el Arlanzón, 28 en el Vena, 8 en el Ubierna y 17 en el Cardeñadizo) con un total de 68 estacionamientos.
- vegetación de las orillas.
- sustrato del fondo del cauce.
- estructuras hidráulicas (se han tomado medida de 50 puentes y pasarelas, 7 azudes y 5 pasos de agua).

4.5.- Simulación y modelización hidráulica

Para realizar la simulación hidráulica en los 4 cauces que atraviesan el Término Municipal de Burgos hemos empleado el paquete informático *HEC-RAS* ("*HEC-River Analysis System*"). Este programa precisa de datos geométricos y de flujo.

Los datos geométricos que han sido necesarios introducir son:

- esquema de la red de drenaje.
- 677 secciones transversales. De éstas 267 son levantadas en campo (97) y obtenidas de la cartografía a escala 1/1.000 del caso urbano y 1/5.000 del Término Municipal (170) y el resto (410) son interpoladas por HEC-RAS. Ello ha permitido simular con una distancia máxima entre secciones de 50 m.
- coordenadas del perfil transversal de cada sección.
- distancia a la sección consecutiva aguas abajo.
- coordenadas delimitadoras del cauce.
- coeficientes de rugosidad de Manning de cada subsección, o bien individualizados para cada coordenada del perfil transversal. Los diferentes coeficientes de rugosidad para cada sección transversal han sido calculados usando como patrón de referencia el promedio de las estimaciones resultantes de aplicar los métodos de Cowan (1956), Strickler (1923) & Chow (1959), Limerinos (1970) y tablas de Chow (1982). Además, para la zona urbana se han tenido en cuenta las recomendaciones aportadas en la "Guía Técnica: Recomendaciones Técnicas para los estudios de inundabilidad de ámbito local" de la Generalitat de Cataluña (Montalbán *et al.*, 2003).
- descriptores de los 50 puentes y pasarelas, de 5 pasos de agua (todos en el río Cardeñadizo) y 7 azudes.

Para la modelación de puentes, pasos de agua y azudes es necesario introducir el índice de contracción y expansión, a la entrada y salida de la estructura respectivamente. Para los puentes hemos optado por tomar como longitud de contracción una vez la apertura del puente (1:1) y como la de expansión entre 1 y 4 veces la apertura del mismo (1:1, 1:4) dependiendo de la obstrucción. En el caso de los pasos de agua se ha tomado un índice de contracción 1:1 y uno de expansión de 1'5:1. Finalmente, para los azudes los coeficientes de contracción y expansión que se toman son 0'3 y 0'1 respectivamente.

Los datos de flujo son relativos a los caudales modelables en el tramo. Éstos son los asociados a las recurrencias de 50, 100 y 500 años obtenidos en la simulación hidrológica. Los cálculos del flujo se han realizado en régimen mixto, siendo la condición de contorno para el inicio de los cálculos el calado normal en las secciones extremas.

4.6.- Cartografía de las avenidas de T = 50, 100 y 500 años y de las zonas de riesgo

La cartografía de las avenidas así como la de las zonas de riesgo se ha obtenido con la ayuda de los programas ArcView, AutoCad y HEC-RAS. Con los datos cartográficos se ha construido el modelo digital del terreno del T.M. de Burgos con la cartografía facilitada por el Excmo. Ayuntamiento de Burgos a escala 1/5.000 y 1/1.000. De ella, se han empleado un total de 32.153 puntos altimétricos con precisión de centímetro, 11.098 polilíneas referentes a curvas de nivel del mapa a escala 1/1.000 con equidistancia de 1 m y 1.879 polilíneas relativas a las curvas de nivel del mapa topográfico 1/5.000 con equidistancia de 5 m.

De la simulación hidráulica, se ha empleado la cota de la superficie de la lámina libre para los caudales de los períodos de retorno estudiados (50, 100 y 500 años) perteneciente a las secciones topografiadas y cartografiadas por el equipo consultor (267 secciones), obviando las interpoladas por el paquete informático HEC – RAS. La razón para no tener en cuenta estas últimas estriba en que, en caso de emplearlas, existiría una superposición entre las secciones transversales que impedirían la formación del modelo digital de la inundación.

La zonificación de las zonas de riesgo en la llanura de inundación se ha establecido en base a la adaptación de los criterios de la DGOHCA (MMA, 2000). En base a estos criterios, se han establecido las siguientes categorías:

- *Zonas de riesgo bajo o reducido*: aquéllas con calado inferior a 0'4 m para el período de retorno de 500 años.
- *Zonas de riesgo medio*: aquéllas comprendidas entre las de riesgo bajo y las de alto.
- *Zonas de riesgo alto*: aquéllas con calado superior a 0'4 m para el período de retorno de 50 años.

5.- RESULTADOS

De las 9 hipótesis establecidas para la simulación hidrológica se elige para replantear su comportamiento hidráulico y para su representación cartográfica en el Término Municipal de Burgos la obtenida a partir del *Hidrograma Triangular Unitario de Temez y Número de Curva en condiciones hidrológicas II (NI)*, calculado según las especificaciones del M.O.P.U. (1987, 1990). Esta hipótesis es la que mejor se ajusta a los datos de la estación foronómica situada en la cabecera de la cuenca, en el embalse de Arlanzón. Con ella, se obtienen unos resultados dentro del rango establecido por dos estudios previos al que se ha redactado, el de INARSA (1996) y el de INGIOPSA (1999).

Los valores de los caudales en diferentes puntos de la red de drenaje dentro del Término Municipal de Burgos se muestran en la fig.7. Estos valores, en nuestra opinión, constituyen los valores de referencia en el T.M. de Burgos para estudios de inundabilidad, diseño de infraestructuras y obras hidráulicas, medidas de planificación y ordenación urbana, así como de protección civil.

En cualquier caso, juzgamos necesaria la instalación de estaciones de aforo en los ríos que discurren por el término municipal de Burgos, especialmente en el Arlanzón y en el Vena, pues sólo así se posibilitarán calibraciones hidrológicas más ajustadas, contrastes con las simulaciones y previsiones de crecidas realmente fiables.

De la simulación hidráulica se obtienen los resultados de forma gráfica (fig.8) y tabular (cota de la línea de energía, cota de la lámina libre, características geométricas de la estructura: puente, paso de agua o azud, puntos geométricos de la sección transversal con sus números de Manning, localización de los márgenes, pendiente de la línea de energía, ancho de ocupación del agua, velocidad del flujo, sección

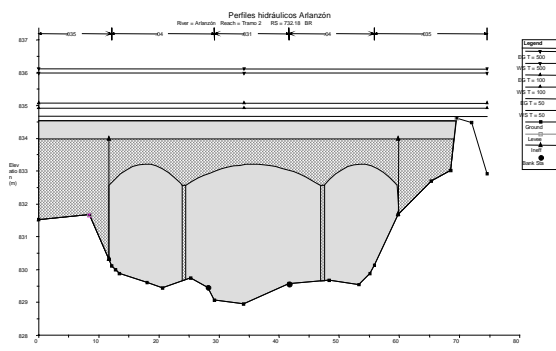


Figura 8: Salida gráfica de HEC-RAS

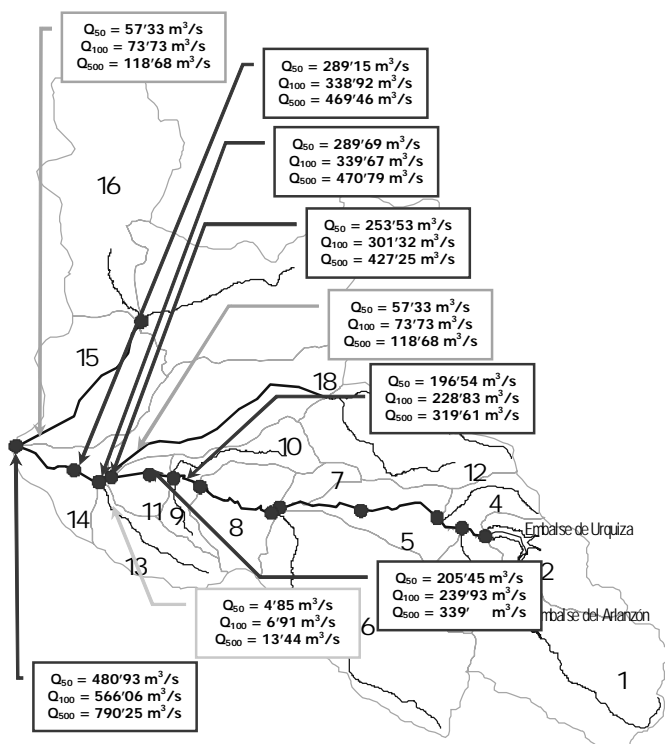


Figura 7: Caudales simulados en el Término Municipal

mojada,...) de las 677 secciones transversales trazadas en los ríos que atraviesan la capital burgalesa: Arlanzón, Vena, Ubierna y Cardeñadijo. Con estos resultados se ha expuesto la situación de los puentes: si sus vanos desaguan toda la avenida, desbordan (ejemplo d el fig.8) y/o se anegan para los caudales de diferente periodo de retorno simulados. Una vez realizada la simulación hidráulica y con la cartografía elaborada del modelo digital del terreno del Término Municipal (TIN y *grid*), se han definido la avenidas provocadas por los diferentes caudales y las zonas de riesgo en todo el Término Municipal de Burgos elaborándose la cartografía correspondiente. A modo de ejemplo se muestran dos tramos, uno con las avenidas y otro con las zonas de riesgo, en la fig. 9.

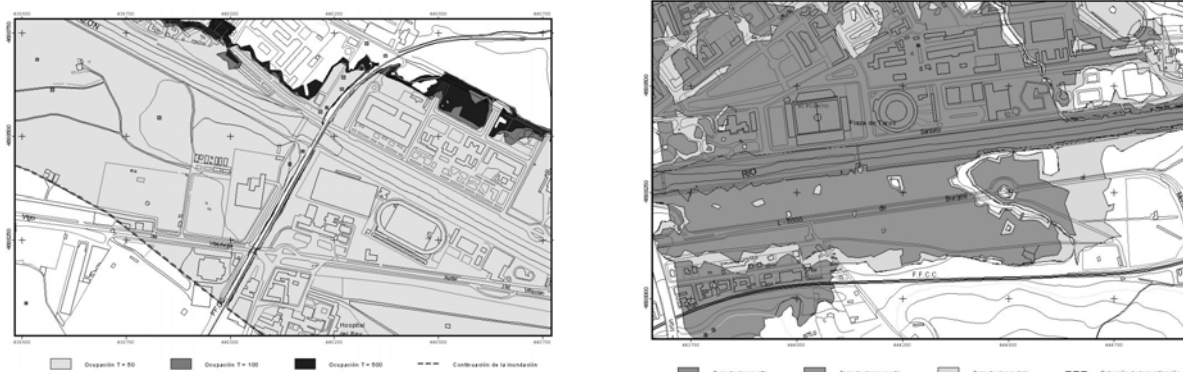


Figura 9: Cartografía de la ocupación de las avenidas (izda.) y de las zonas de riesgo (dcha.)

CONCLUSIONES

Con la cartografía de la ocupación de las avenidas y de las zonas de riesgo se establece una relación de los efectos que producen los diferentes caudales para las avenidas de 50, 100 y 500 años. Así, aguas arriba del Término Municipal, a pesar de que existe un anegamiento de las márgenes, los daños generados por las avenidas no son desastrosos dada la ausencia de importantes edificaciones. Justo lo contrario que más aguas abajo, en el centro urbano burgalés: las explanaciones de las márgenes, junto con el recrecimiento de las motas para contener el flujo (medida estructural útil pero que da una falsa sensación de seguridad) hacen que un desbordamiento en cualquier punto del curso anegue extensas superficies dado la considerable diferencia de cota en la lámina libre y el terreno. Esta cartografía podrá ser la base para la ordenación y planificación del territorio del municipio de Burgos, teniendo en cuenta las recomendaciones establecidas para los diferentes usos: por ejemplo, situar usos de

equipamientos como parques, zonas deportivas, aparcamientos al aire libre, etc., en zonas de riesgo alto a bajo siempre que no exista peligro de inundaciones relámpago y que las construcciones accesorias sean relativas a los usos a desarrollar.

BIBLIOGRAFÍA

- BRUNNER, G. W. 2002. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Versión 3.1, 2002. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. Davis, California U.S.A.
- BRUNNER, G. W. 2002. HEC-RAS River Analysis System User.s Manual. Versión 3.1. 2002. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. Davis, California U.S.A.
- BUENDÍA MOYA, G. 1988. *Introducción al clima del Duero*. Publicación A-106. INM. 25 p
- CHOW, V.T. 1982. *Hidráulica de los canales abiertos*. Editorial Diana. México. 633 p.
- COWAN, W.L. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural Engineering*, Vol. 37 (7): 473-475.
- DGINM. 2003. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. Madrid. Direc. Gral. Del Inst. Nac. De Meteorología. MMA. CD-ROM.
- DUEÑAS, C. 1997. Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones, en *Jornadas Parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua: VI- La protección civil ante el riesgo de inundaciones*. Cámara del Senado. Madrid, 24-25 de noviembre de 1997: 7 p.
- FELDMAN, A.D. (ed.). 2000. Hydrologic Modelling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. U.S. Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. Davis. 155 p.
- FERNÁNDEZ LOP, A. 1997. Riesgos hidrológicos y conservación de la naturaleza, en *Jornadas Parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua: II- Medio ambiente y riesgos hidrológicos*. Cámara del Senado. Madrid, 24-25 de noviembre de 1997: 11 p.
- FERRER, F.J. 2000. *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. CEDEX. Ministerio de Fomento. Madrid. 76 p.
- FERRER, M. 2003. *Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección*. CEDEX. Ministerio de Fomento. Madrid. 346 p.
- HOGGAN, D. H. 1997. Floodplain Hydrology and Hydraulics. 2ª ed. Mc Graw-Hill. New York. 677 p.
- ICONA. 1994. *Segundo Inventario Forestal Nacional. 1986-1995. Castilla y León. Burgos*. ICONA. MAPA. Madrid. 289 p.
- INARSA. 1996. *Asistencia Técnica para el Estudio y Delimitación Previa del Dominio Público Hidráulico Correspondiente a la 2ª Fase del Proyecto LINDE. Cuenca Hidrográfica del Duero*. Confederación Hidrográfica del Duero. Valladolid. (sin publicar)
- INGIOPSA. 1999. *Redacción de las Normas de Explotación en Situaciones Extraordinarias, Actualización del Documento XYZT y Revisión Detallada de las Presas de Arlanzón y Urquiza*. Valladolid. Conf. Hidr. Del Duero. MMA. (Sin publicar).
- LAMAS ROMERO, J. L. 1985. Factores climáticos e hidrológicos en la formación de avenidas, en Ayala, F.J. (Coord.). *Geología y prevención de daños por inundaciones*. Madrid. Instituto Geológico y Minero de España: 55 – 116.
- LIMERINOS, J.T. 1970. *Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels*. Water Supply paper 1989-B, United States Geological Survey. Washington D.C.
- Oleagordia Montaña, I., Rodríguez García, R., Navarro Hevia, J. y del Castillo Novo, V. 2006. Estudio hidrológico del río Arlanzón a su paso por el Término Municipal de Burgos. U.D. de Hidráulica e Hidrología. E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia. Universidad de Valladolid (sin publicar).
- MARTÍN VIDE, J. P. 2002. *Ingeniería de ríos*. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. 331 p.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA PAREDES, A. y NAVARRO HEVIA, J. 1996. *Hidrología Forestal. El Ciclo Hidrológico*. Valladolid. Serv. Publ. Universidad de Valladolid. 286 p.
- MELÉNDEZ, B. Y FUSTER, J.M. 1997. *Geología*. 7ª edición. Madrid. Paraninfo. 911 p.
- MONTALBÁN COMAS, F.; MANZANO, A.; CORREA, L.; CABOT, J. y GODÉ, LI. 2003. *Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'ambit local: guia tècnica*. Generalitat de Catalunya, Agència Catalana de l'Aigua. Barcelona. 89 p.
- M.O.P.U. 1987. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. M.O.P.U. Madrid. 124 p.
- M.O.P.U. 1990. *Instrucción 5.2-IC. Drenaje Superficial*. M.O.P.U. Madrid. 84 p.
- PONCE, V.M. 1989. *Engineering Hydrology. Principles and Practices*. Prentice Hall. New Jersey. 640 p.
- STRAHLER, A.N. & STRAHLER, A.H. 1997. *Geografía Física*. 3ª edición. Barcelona. Omega. 550 p.