

## Anexo I Al Decreto

## Convenios con los Ayuntamientos de la Región de Murcia para la promoción de políticas de defensa del consumidor. Ejercicio-2007

## PARTIDA PRESUPUESTARIA: 19 06 00 443 A 46299

## Proyecto. 20.825

Importe Total: 62.646,00 EUROS

EXPTE.	AYUNTAMIENTO	APORTACION C.A.R.M.	APORTACION LOCAL	TOTAL	ACTIVIDADES
9/2007	JUMILLA	6.010,00	3.305,00	9.315,00	1, 2 y 3
10/2007	SAN PEDRO DEL PINATAR	11.571,00	2.404,00	13.975,00	1, 2 y 4
13/2007	LOS ALCAZARES	6.000,00	1.800,00	7.800,00	1, 2 y 3
20/2007	ALHAMA DE MURCIA	6.010,00	2.704,00	8.714,00	1 y 2
27/2007	CIEZA	9.015,00	6.010,00	15.025,00	1, 2 y 3
31/2007	MAZARRÓN	6.010,00	3.005,00	9.015,00	1, 2 y 6
32/2007	CEHEGIN	6.010,00	3.005,00	9.015,00	1, 2 y 3
33/2007	PUERTO LUMBRERAS	6.010,00	2.404,00	8.414,00	1, 2 y 3
34/2007	FUENTE ALAMO	6.010,00	2.404,00	8.414,00	1, 2 y 3

## Actividades:

- 1.- Oficina municipal de información al consumidor y usuario (OMIC)
- 2.- Campañas de información y educación
- 3.- Actividades de formación
- 4.- Servicio de arbitraje
- 5.- Plan PREVIENE
- 6.- Inspección

## Consejo de Gobierno

**10443 Decreto número 258/2007, de 13 de julio, por el que se establece el contenido y procedimiento de los estudios de inundabilidad en el ámbito del Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia.**

## Exposición de Motivos

La ordenación de usos en las zonas que tienen riesgo de inundación es una prioridad para la Administración regional, en el esfuerzo por minimizar los daños que este tipo de fenómenos naturales vienen causando en la Región de Murcia.

El Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia (en adelante POL), aprobado definitivamente por Acuerdo de Consejo de Gobierno, de 18 de junio de 2004, supuso un hito en la ordenación territorial, determinando una serie de cauces cuyas crecidas entrañan una especial peligrosidad, minimizando los posibles riesgos que pudieran acaecer mediante una acción preventiva, y estableciendo una zona de protección de 100 metros en la cual se regula su régimen de usos.

Este instrumento de ordenación territorial, define en su artículo 22 el Suelo de Protección de Cauces como "aquel suelo cuyo régimen de protección responde a la necesidad de controlar los daños producidos por las inundaciones, para lo cual se delimita una zona a ambos lados de los cauces que presenta un alto riesgo de inundabilidad".

El Suelo de Protección de Cauces se delimitó en el artículo 23 del POL, con una extensión de 100 metros a ambos lados del cauce, medida desde los márgenes reflejados en la cartografía 1/5000 de la Región de Murcia. Sin embargo, su vocación es de provisionalidad, dado que ha de ser precisada a fin de establecer realmente la zona inundable.

Así pues, en desarrollo de la previsión introducida en el artículo 24 del POL, el presente Decreto regula el contenido y procedimiento del estudio de inundabilidad que ha de redactarse a fin de modificar la delimitación del Suelo de Protección de Cauces; dicho estudio ha de tramitarse por la Dirección General competente en materia de Ordenación del Territorio.

Por último, se hace referencia a la posibilidad de que la metodología establecida en el Anexo I del presente texto pueda ser utilizada por otras Administraciones en el ámbito de la Región de Murcia para determinar el alcance del riesgo de inundación fuera del ámbito territorial del POL.

Por todo ello, a propuesta del Consejero de Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio, de acuerdo con el Consejo Jurídico de la Región de Murcia, y previa deliberación del Consejo de Gobierno en su reunión celebrada el día 13 de julio de 2007,

### **Dispongo**

#### **Artículo 1. Objeto.**

El presente Decreto, en desarrollo de la previsión establecida en el artículo 24 del Decreto 57/26004, de 18 de junio, por el que se aprueban las Directrices y Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia, regula el contenido y procedimiento que ha de seguirse en la realización de estudios de inundabilidad, requeridos para la modificación de la delimitación del Suelo de Protección Cauces.

#### **Artículo 2. Ámbito territorial.**

La presente Disposición será de aplicación en el ámbito de las Directrices y Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia, así como en el de otros instrumentos de ordenación territorial cuando estos lo prevean.

#### **Artículo 3. Definición de conceptos.**

A efectos del presente Decreto, serán de aplicación las siguientes definiciones:

1. Cauces inventariados: Son aquellos indicados en el Anexo II del Decreto 57/2004, de 18 de junio, por el que se aprueban las Directrices y Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia.

2. Suelo de Protección de Cauces: Aquel conformado por una banda de 100 metros a ambos lados de los cauces incluidos en el Anexo II del Decreto 57/2004, medida desde los márgenes que se reflejan en la cartografía regional 1:5000.

3. Estudio de inundabilidad: Es aquel que, realizado de acuerdo con los requisitos y procedimientos señalados en el presente Decreto, determina aquellas zonas del territorio afectadas por un riesgo de inundación.

#### **Artículo 4. Órgano competente.**

Corresponde a la Dirección General competente en materia de Ordenación del Territorio, la tramitación y aprobación de los estudios de inundabilidad previstos en el Capítulo VIII del Título I del Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia, debiendo respetarse en todo caso las competencias que ostentan, tanto la Administración General del Estado en materia de protección del Dominio Público Hidráulico, régimen de corrientes y Dominio Público Marítimo Terrestre, como las de los distintos Ayuntamientos en la ordenación de sus respectivos términos municipales.

#### **Artículo 5. Iniciación del Procedimiento.**

1. El procedimiento se iniciará de oficio por la Dirección General competente en materia de ordenación del territorio, ya sea a iniciativa propia, a propuesta del Ayuntamiento por cuyo término municipal discurra el tramo del cauce, o a iniciativa de los particulares.

2. En el caso de que se inicie el procedimiento a propuesta de un Ayuntamiento o de un particular, éstos debe-

rán adjuntar a la propuesta un estudio de inundabilidad realizado de acuerdo con lo indicado en el presente Decreto.

#### **Artículo 6. Tramitación.**

1. La Dirección General competente en materia de Ordenación del Territorio emitirá una resolución acordando el inicio del procedimiento de tramitación del estudio de inundabilidad.

2. El citado estudio será expuesto al público durante el plazo de un mes mediante anuncio en el Boletín Oficial de la Región de Murcia y en dos de los diarios de mayor difusión regional, solicitándose informe preceptivo por el mismo plazo a los Ayuntamientos por cuyos términos municipales discurra el cauce cuya zona de protección se pretende modificar.

3. Asimismo, y de manera simultánea se solicitará informe preceptivo a la Administración General del Estado en aspectos de su competencia, tales como los dominios públicos hidráulico y, en su caso, marítimo terrestre, por plazo de dos meses; dicho informe tendrá el contenido y carácter que se indique en su legislación sectorial específica.

4. En el plazo máximo de seis meses se evacuará y notificará la resolución del Director General competente en materia de Ordenación del Territorio, que será publicada en el Boletín Oficial de la Región de Murcia. Transcurrido dicho plazo sin dictarse y notificarse la resolución, ésta se entenderá desestimada.

#### **Artículo 7. Efectos de la aprobación de un estudio de inundabilidad.**

1. La aprobación de un estudio de inundabilidad permitirá la modificación del Suelo de Protección de Cauces, para lo cual deberá incorporarse al Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia por el procedimiento de modificación que corresponda, sin perjuicio de los procedimientos de modificación de otros instrumentos de ordenación del territorio y del planeamiento urbanístico que resulten procedentes en atención a la misma. Podrán simultanearse los procedimientos de aprobación del estudio de inundabilidad y la tramitación de la modificación del Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia.

2. Asimismo, la modificación del Suelo de Protección de Cauces habrá de incluirse en el Sistema Territorial de Referencia establecido en el Decreto Legislativo 1/2005, de 10 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley del Suelo de la Región de Murcia.

3. En cualquier caso, la aprobación del estudio de inundabilidad no afectará al régimen establecido en la legislación de aguas para la zona de policía y la protección del régimen de corrientes.

#### **Disposición Adicional**

Los parámetros establecidos en el Anexo I del presente Decreto, podrán utilizarse para determinar las zonas susceptibles de sufrir riesgo de inundaciones, así como para establecer un régimen de usos para las mismas en la elaboración de instrumentos de ordenación territorial, urbanística o sectorial.

### Disposición Derogatoria

Quedan derogadas las disposiciones de carácter general de igual e inferior rango en todo aquello que se oponga a lo establecido en el presente Decreto.

### Disposición Final

El presente Decreto entrará en vigor, al día siguiente de su publicación íntegra, incluido Anexo Técnico, en el Boletín Oficial de la Región de Murcia.

En Murcia a 13 de julio de 2007.—El Presidente, Ramón Luís Varcárcel Siso.—El Consejero de Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio, Benito Javier Mercader León.

### Anexo Técnico

#### Índice

1.-	Introducción	9	4.4.1.-	Generalidades	30
1.1.-	Objetivos de un Estudio de Inundabilidad	10	4.4.2.-	Análisis comunes	31
1.2.-	El riesgo de inundación	10	4.4.3.-	Método de Témex Modificado (MTM) 35	
1.3.-	Componentes de un estudio de inundabilidad	15	4.4.4.-	Modelo hidrológico pseudodistribuido basado en HU (MHU) 37	
1.3.1.-	Estudios a realizar	15	4.4.5.-	Bibliografía seleccionada	40
1.3.2.-	Cartografía resultante	15	4.4.6.-	Fuentes de información	40
1.4.-	Condiciones de aplicabilidad	16	4.5.-	Resultados	41
2.-	Estudio Geomorfológico	17	4.5.1.-	Método probabilístico	42
2.1.-	Objetivo	18	4.5.2.-	Método hidrometeorológico	42
2.2.-	Método	18	5.-	Estudio hidráulico	44
2.2.1.-	Generalidades	18	5.1.-	Objetivos	45
2.2.2.-	Bibliografía seleccionada	18	5.2.-	Método	45
2.3.-	Fuentes de información	18	5.2.1.-	Tipos de flujo y modelos de inundación	45
2.4.-	Resultados	19	5.2.2.-	Aplicación	47
3.-	Estudio Histórico	20	5.2.3.-	Calibración y validación	54
3.1.-	Objetivo	21	5.2.4.-	Análisis de sensibilidad	54
3.2.-	Método	21	5.2.5.-	Elaboración de la cartografía de inundación	54
3.2.1.-	Generalidades	21	5.2.6.-	Bibliografía seleccionada	55
3.2.2.-	Bibliografía seleccionada	22	5.3.-	Fuentes de información	55
3.3.-	Fuentes de información	22	5.4.-	resultados	56
3.4.-	Resultados	23	Anexo. Software de cálculo recomendado		58
4.-	Estudio Hidrológico	25	A.1. Software para el análisis hidromorfológico		59
4.1.-	Objetivo	26	A.2. Software para el análisis estadístico de caudales de crecida		59
4.2.-	Metodología general	26	A.3. Software para la modelación hidrológica		59
4.3.-	Método probabilístico	27	A.4. Software para la modelación hidráulica		60
4.3.1.-	Generalidades	27			
4.3.2.-	Análisis de la información	27			
4.3.3.-	Modelos estadísticos recomendados	27			
4.3.4.-	Criterios de selección del modelo	28			
4.3.5.-	Series mixtas con ceros	29			
4.3.6.-	Bibliografía seleccionada	29			
4.3.7.-	Fuentes de información	29			
4.4.-	Métodos hidrometeorológicos	30			

### Introducción

#### Objetivos de un Estudio de Inundabilidad

Los objetivos fundamentales de un Estudio de Inundabilidad a escala de detalle son:

- i) Entender los mecanismos de inundación de la Zona de Estudio.
- ii) Delimitar la Zona Inundable.
- iii) Determinar su riesgo de inundación en la situación actual y, en su caso, futura.

#### El riesgo de inundación

Se entiende por riesgo de inundación de un punto del territorio la combinación de frecuencia y magnitud de las inundaciones que se pueden producir en el mismo.

En lo que respecta a la frecuencia, los Estudios de Inundabilidad analizarán al menos las inundaciones con frecuencia de 25, 100 y 500 años de período de retorno.

La magnitud de la inundación se evaluará fundamentalmente con el calado máximo alcanzado. Para los niveles de frecuencia correspondientes a 25, 100 y 500 años de período de retorno, se obtendrán y cartografiarán en los Mapas de Riesgo de Inundación al menos el borde de

inundación y las isóneas de 10, 40, 80 y 120 cm de calado máximo.

A efectos de una posible zonificación de usos, se condensará toda la información sobre el riesgo de inundación en un Mapa de Síntesis del Riesgo de Inundación con 3 niveles de riesgo (Tabla 1.1):

i) Tendrán nivel de riesgo 3:

Las zonas inundables con período de retorno inferior a 25 años en las que el calado alcanzado para 25 años sea superior a 80 cm.

ii) Tendrán nivel de riesgo 2:

Las zonas inundables con período de retorno inferior a 25 años en las que el calado alcanzado para 25 años se encuentre entre 10 y 80 cm.

Las zonas inundables con período de retorno entre 25 y 100 años, en las que el calado alcanzado para 100 años sea superior a 10 cm.

Las zonas inundables con periodo de retorno entre 100 y 500 años, en las que el calado alcanzado para 500 años sea superior a 40 cm.

iii) Tendrán nivel de riesgo 1:

Las zonas inundables con período de retorno entre 100 y 500 años, en las que el calado alcanzado para 500 años se encuentre entre 10 cm y 40 cm.

Se asumirán de riesgo residual (o riesgo 0) las zonas inundables con periodo de retorno superior a 500 años y para aquellas en las que el calado alcanzado para 500 años sea inferior a 10 cm.

Tabla 1.1. Niveles de riesgo de un punto del territorio para el Mapa de Síntesis del Riesgo de Inundación, en función del calado máximo alcanzado y el período de retorno.

Calado máximo (cm)	Período de retorno (años)			
	menor de 25	entre 25 y 100	entre 100 y 500	mayor de 500
mayor de 80	3	2	2	0
entre 40 y 80	2	2	2	0
entre 10 y 40	2	2	1	0

Excepcionalmente, en los casos donde se localizan o esté previsto que existan usos con elementos que puedan ser arrastrados por las aguas, se determinarán y cartografiarán en los Mapas de Riesgo de Inundación las isóneas de velocidad de flujo de 0,4 y 1,0 m/s.

A efectos del Mapa de Síntesis del Riesgo de Inundación, se considerará de riesgo 3 aquella zona inundable, que cumpla simultáneamente los siguientes condicionantes:

Que para 500 años de período de retorno alcance un calado superior a los 10 cm.

Que para los 100 años de período de retorno la velocidad sea superior a 1 m/s o el producto de la velocidad por el calado sea superior a 0,8 m<sup>2</sup>/s.

Para la asignación de un nivel de riesgo a un punto del territorio en el que concurren diferentes niveles prevalecerá aquel más restrictivo.

El "Suelo de Protección de Cauces" contemplado en las Directrices y Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la región de Murcia, engloba los niveles de riesgo 2 y 3, y tendrá el régimen de usos indicado en dicho documento.

A efectos de una posible zonificación de usos, de conformidad con la Disposición Adicional del presente Decreto, se determina el siguiente régimen de usos:

	Prohibido	Permitido
<b>Nivel 1 Riesgo Bajo</b>	Industrial de transformación y sust. peligrosas Residencial y turístico (salvo mínima densidad. y camping). Equipamientos comunitarios cerrados. Infraestructuras puntuales energéticas: centros de producción, transformación y almacenamiento de energía.	Agrario: agricultura y ganadería. Industrial: extractiva y de almacenaje. Residencial y Turístico de mínima densidad (medidas). Camping (estudio de velocidades). Equipamientos comunitarios abiertos. Infraestructuras lineales y puntuales salvo energéticas.
<b>Nivel 2 Riesgo Medio</b>	Industrial de transformación y sust. peligrosas Residencial y Turístico. Equipamientos comunitarios cerrados. Infraestructuras puntuales energéticas: centros de producción, transformación y almacenamiento de energía. Infraestructuras puntuales: potabilizadoras.	Agrario: agricultura y ganadería. Industrial extractiva y de almacenaje. Equipamientos comunitarios abiertos. Infraestructuras lineales. Infraestructuras puntuales: depuradoras con medidas de drenaje, defensa y protección.
<b>Nivel 3 Riesgo Alto</b>	Agrario: ganadería. Industrial de transformación, sust. peligrosas y de almacenaje. Residencial y Turístico. Equipamientos comunitarios cerrados. Infraestructuras puntuales energéticas: centros de producción, transformación y almacenamiento de energía. Infraestructuras puntuales: potabilizadoras.	Agrario: agricultura. Industrial extractiva. Equipamientos comunitarios abiertos. Infraestructuras lineales. Infraestructuras puntuales: depuradoras, con medidas de drenaje, defensa y protección.

**Usos a Considerar**

## I. Agrario:

1. Agricultura.
2. Ganadería.

## II. Industrial:

1. Extractiva.
2. Almacenaje.
3. Transformación.
4. Peligrosas

## III. Residencial y turístico:

1. Residencial.
2. Turístico.
  - A. Hotel, apartahotel.
  - B. Villas turísticas, casa rural.
  - C. Camping.
3. Equipamientos comunitarios:
  - A. Abiertos.
  - B. Cerrados.
- a. Dotacionales.
  - 1) Deportivos.
  - 2) Culturales.
  - 3) Comerciales.
  - 4) Centros Escolares.
  - 5) Hospitales.
- b. Estratégicos.
  - 1) Parques de bomberos.
  - 2) Centros de emergencia.
  - 3) Cuarteles.
4. Infraestructuras:
  - A. Lineales.
  - B. Puntuales:
    - a. Potabilizadoras.
    - b. Depuradoras.
    - c. Centros de producción, transformación y almacenamiento de energía.

**Componentes de un estudio de inundabilidad****Estudios a realizar**

El documento de un Estudio de Inundabilidad constará al menos de los siguientes capítulos:

- i) Estudio Geomorfológico de la Zona de Estudio.
- ii) Estudio Histórico de las inundaciones que hayan afectado a la Zona de Estudio.
- iii) Estudio Hidrológico de la cuenca vertiente.
- iv) Estudio Hidráulico de la Zona de Inundación.

La recopilación de antecedentes puede hacer innecesario total o parcialmente alguno de los estudios anteriores. En estos casos, se recogerán en el capítulo correspondiente los resultados encontrados perfectamente referenciados.

**Cartografía resultante**

Al menos se representarán cartográficamente los siguientes mapas tanto en soporte papel como digital:

ii) Mapa de localización de la Zona de Estudio a la escala adecuada.

iii) Mapa Hidrogeomorfológico de la Zona de Estudio a la escala adecuada.

iv) Mapa de la Cuenca vertiente a la Zona de Estudio a la escala adecuada.

v) Mapas de Riesgo de Inundación en la Zona de Estudio para cada período de retorno en situación actual a la escala de detalle.

vi) Mapa de Síntesis del Riesgo de Inundación en la Zona de Estudio en situación actual a la escala de detalle.

Si fuera necesario, además se añadirán los Mapas de Riesgo de Inundación y el Mapa de Síntesis del Riesgo de Inundación para la situación futura.

La escala de detalle a que se hace referencia será como mínimo:

a) para el planeamiento municipal y supramunicipal la escala 1:10.000

b) para actuaciones de menor magnitud espacial la escala 1:5.000

Todos los mapas incluirán una cartografía de referencia para la adecuada localización de los elementos representados. Podrá utilizarse, según disponibilidad, de alguna de las siguientes fuentes cartográficas de acuerdo con la escala de trabajo:

i) Mapa Topográfico Regional MTR20 Escala 1:20.000

ii) Mapa Topográfico Regional MTR5 Escala 1:5.000

iii) Mapas Topográficos de núcleos urbanos MTU1 Escala 1:1.000

iv) Mapas Topográficos de núcleos urbanos MTU0.5 Escala 1:500

v) Ortofotomapa Regional OR20 Escala 1:20.000

vi) Ortofotomapa Regional OR5 Escala 1:5.000

La representación digital de la cartografía estará georreferenciada adecuadamente y en un formato estándar de intercambio entre Sistemas de Información Geográfica.

**Condiciones de aplicabilidad**

Los procedimientos descritos en este Anexo aportan, si las tienen, ciertas limitaciones de aplicabilidad. Estas limitaciones son conservativas, por lo que justificadamente o con las modificaciones adecuadas, podrían ser de aplicación fuera de los límites expresados.

**Estudio Geomorfológico****Objetivo**

El objetivo fundamental del Estudio Geomorfológico es aportar información sobre la génesis y desarrollo de las inundaciones que pueden afectar a la Zona de Estudio. Por tanto, sus resultados servirán para entender los even-

tos registrados en el pasado, y como base de partida de los fundamentos conceptuales del Estudio Hidráulico.

### **Método**

#### **Generalidades**

El desarrollo del Estudio Geomorfológico exige la identificación y localización de los diferentes procesos, formas y unidades geomorfológicas del área de estudio, a partir del análisis de las distintas fuentes de información documental disponibles y de un exhaustivo reconocimiento sobre el terreno de la topografía, el modelado y la red de drenaje (natural o artificial, preexistente y activa).

Los procesos de desbordamiento son un agente fundamental del modelado terrestre, por lo cual, a su vez, el estudio de las formas del relieve y de la topografía coadyuva a predecir el comportamiento hidráulico y en parte hidrológico de las inundaciones en la Zona de Estudio.

#### **Bibliografía seleccionada**

Existen múltiples manuales de consulta en la elaboración de los estudios geomorfológicos. Entre ellos cabe destacar los siguientes en castellano:

Gutiérrez Elorza, M. Geomorfología de España. Editorial Rueda, Madrid. 1994.

Pedraza Gilsanz, J. de (coordinador). Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda, Madrid. 1996.

Mientras que para la elaboración de la cartografía geomorfológica puede utilizarse:

Peña, J. L. Cartografía geomorfológica básica y aplicada. Geoforma, Logroño. 1997.

#### **Fuentes de información**

La recopilación de la información necesaria debe efectuarse en primer lugar y necesariamente con un reconocimiento directo del terreno.

Asimismo, en función del problema y su escala espacial, pueden emplearse las siguientes fuentes de información:

- a) Monografías y publicaciones seriadas.
- b) Mapas Geológicos del IGME a escala 1: 50.000 y sus memorias.
- c) Cartografía histórica.
- d) Ortofotomapa Regional OR20 escala 1:20.000.
- e) Ortofotomapa Regional OR5 escala 1:5.000.

#### **Resultados**

Este estudio debe permitir distinguir y localizar explícitamente las siguientes unidades y subunidades geomorfológicas y elementos antrópicos en la Zona de Estudio y su entorno:

- i) Relieves de sectores montañosos.
- ii) Llanos de inundación.
- iii) Abanicos aluviales y glaciares.
- iv) Humedales: saladares, marjales, albuferas, restingas y bocanas.

v) Cauces, paleocauces, vaguadas y formas asociadas (motas, subdeltas de derrame, etc.), así como las canalizaciones de origen antrópico (acequias, azarbes, etc.).

vi) Infraestructuras que puedan tener influencia en el movimiento desbordado del agua, especialmente las infraestructuras lineales.

Además de las formas, el estudio debe describir los procesos geomorfológicos, activos e inactivos, que expliquen la actual morfología del terreno y que puedan influir en la hidrodinámica de los mecanismos de inundación de la Zona de Estudio.

Los resultados del trabajo deben plasmarse cartográficamente en un Mapa Hidrogeomorfológico a la escala adecuada.

Adicionalmente, resulta muy conveniente la utilización de elementos gráficos auxiliares como perfiles topográficos, cortes sedimentarios o fotografías de las formas o procesos reseñados en el informe. Asimismo, el informe y la cartografía deben incluir elementos descriptivos de la litología de la Zona de Estudio.

### **Estudio Histórico**

#### **Objetivo**

El estudio de las inundaciones históricas de la Zona de Estudio tiene como principal objetivo aportar información en la medida de lo posible sobre los siguientes aspectos:

- i) Tipología de procesos históricos de inundación.
- ii) Localización y delimitación de las zonas históricamente inundables.
- iii) Reconstrucción de los eventos históricos.

En caso de ser requerido y si las condiciones geomorfológicas de la cuenca son las adecuadas, se incluirá un Estudio de Paleocrecidas que complemente el Estudio Histórico.

Los resultados de este estudio sirven de apoyo a los estudios Geomorfológico (confirmación histórica de los mecanismos de inundación) e Hidráulico (calibración del modelo hidráulico). En el caso de contar con una serie exhaustiva en el tiempo de crecidas históricas y/o paleocrecidas, podrá ser utilizada esta información en el análisis estadístico de los caudales del Estudio Hidrológico, previa reconstrucción hidráulica de los eventos, como información de tipo no sistemática.

#### **Método**

#### **Generalidades**

Un Estudio Histórico de las inundaciones de la Zona de Estudio se basa en la recopilación de la información histórica sobre diferentes parámetros de los procesos de inundación en la misma.

Por otro lado, un Estudio de Paleocrecidas se basa en la recopilación exclusivamente de indicadores que aportan información sobre los niveles máximos alcanzados durante la crecida, normalmente de tipo sedimentario. Mediante distintas técnicas de datación, es posible la asignación de una fecha aproximada a los eventos.

Tanto un Estudio Histórico como de Paleocrecidas presentan diversas limitaciones y dificultades:

i) La información obtenida es una muestra parcial del registro paleohidrológico.

ii) Son datos desiguales espacial y temporalmente.

iii) Su información suele ser de escasa precisión terminológica y, en la mayor parte de los casos, no es posible obtener toda la información requerida.

iv) Su magnitud viene determinada por la percepción coetánea de los daños materiales y personales.

v) Se puede caer en el problema de la no estacionaridad de los procesos de génesis de las inundaciones, bien por cambio climático, por cambios hidrológicos en la cuenca (cambios de cubierta vegetal o, en tiempos modernos, procesos de urbanización y de construcción de presas) o por cambios hidráulicos en la propia Zona de Inundación.

Por último, es importante destacar que para el análisis estadístico de los caudales no es necesario conocer exactamente los calados máximos en cada crecida, sino que es suficiente conocer una cota inferior de los mismos, ya que es posible el análisis con una serie censurada de caudales.

#### **Bibliografía seleccionada**

Unas buenas referencias para la elaboración de los estudios históricos y de paleocrecidas son:

Benito, G. y V.R. Thorndycraft (editores). *Systematic, Palaeoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation. Methodological Guidelines*. CSIC- Centro de Ciencias Medioambientales, Madrid, 115 pp. 2004.

Glade, T., P. Albini y F. Francés (editores). *The use of Historical Data in Natural Hazard Assessments*. Kluwer Academic Publishers, 220 pp, 2001.

#### **Fuentes de información**

En la actualidad, la mayor parte de la información histórica sobre inundaciones en la Región de Murcia se haya recopilada en el documento:

López Bermúdez, F. (coordinador). *Directriz básica de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones*. Recopilación de la documentación sobre inundaciones en la Región de Murcia. Identificación y localización de zonas vulnerables. Instituto del Agua y el Medio Ambiente (INUAMA), Universidad de Murcia y Dirección General de Protección Civil de la Región de Murcia. 2001.

No obstante, además de la consulta de las fuentes citadas en dicho documento, puede resultar necesaria la incorporación de información adicional, que debe efectuarse a partir de las siguientes fuentes:

i) Encuesta oral, tanto con los propietarios afectados como con el personal del ayuntamiento.

ii) Marcas e indicaciones de alturas de inundación en edificios e infraestructuras.

iii) Monografías, memorias y revistas de investigación.

iv) Publicaciones de cronistas e historiadores locales.

v) Prensa regional, provincial y local desde finales del siglo XIX hasta nuestros días.

vi) Informes de organismos oficiales.

vii) Documentación de archivos históricos.

viii) Cartografía histórica.

En lo que respecta a las paleocrecidas, en la Región de Murcia existe un estudio pionero del Alto Guadelentín, cuyos resultados se pueden encontrar en:

Benito, G., M. Rico, A. Díez Herrero, Y. Sánchez-Moya, A. Sopeña y V. R. Thorndycraft. *Hidrología de paleocrecidas y seguridad de presas*. En G. Benito y A. Díez Herrero (eds.), *Riesgos naturales y antrópicos en Geomorfología*. (Actas de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología, Toledo, septiembre de 2004). SEG y CSIC, Madrid, 2004.

En los trabajos de recopilación es recomendable un buen conocimiento o asesoramiento heurístico, con objeto de evaluar a priori su coste temporal y económico y los posibles beneficios de la búsqueda de información. Desde este punto de vista, dado su bajo coste, la encuesta oral es obligatoria.

Para la interpretación de los resultados es muy conveniente comparar los datos de autores coetáneos. También resulta útil tener un buen conocimiento de la toponimia local, presente e histórica.

#### **Resultados**

Los datos requeridos (si existen) para cada inundación histórica o paleocrecida son:

i) Fecha.

ii) Área afectada y duración.

iii) Calados alcanzados por la inundación (o una cota inferior), con referencia de cota actualizada.

iv) Topografía para la reconstrucción hidráulica.

v) Procesos de desbordamiento.

vi) Aporte sedimentario.

vii) Calidad o verosimilitud de la información.

viii) Fuente de información.

Para las inundaciones históricas, adicionalmente se puede encontrar:

ix) Hidrograma o caudal máximo de la crecida.

x) Daños producidos.

xi) Obras de defensa y trabajos de reconstrucción realizados.

Cuando se disponga de información suficiente, debe elaborarse un mapa o mapas informativos de las inundaciones históricas en la Zona de Estudio, con indicación de las zonas inundadas en cada episodio y de los puntos de mayor riesgo.

En cualquier caso, la información obtenida deberá relacionarse con las conclusiones del Estudio Geomorfológico.

#### **Estudio Hidrológico**

##### **Objetivo**

El objetivo del Estudio Hidrológico es la obtención de los caudales de crecida para los períodos de retorno requeridos (denominados cuantiles de crecida) y en los

puntos del territorio objeto de análisis dentro de la Zona de Estudio, de tal forma que sean los caudales de diseño del Estudio Hidráulico.

### Metodología general

Básicamente, existen dos métodos de análisis para la obtención de cuantiles de crecida:

i) Método probabilístico: consistente en el análisis estadístico directo de series de caudal instantáneo máximo anual registradas en la cuenca. Recomendable en los casos en los que en el desagüe de la cuenca, o en secciones próximas del curso principal (cuya cuenca vertiente no difiera significativamente en extensión de la del punto de desagüe), se ubique una estación de aforo con un registro de caudales de suficiente longitud y fiabilidad.

ii) Métodos hidrometeorológicos: en ellos se parte de un análisis de la frecuencia de las precipitaciones máximas, con el objetivo de obtener, en una primera fase, la tormenta de diseño correspondiente a cada período de retorno. En una segunda fase, mediante un modelo de transformación de la lluvia en escorrentía, se convierten estos hietogramas en hidrogramas de crecida.

Los métodos hidrometeorológicos son de aplicación en cualquier caso, ya que habitualmente se puede contar con suficiente información pluviométrica para su desarrollo. Por contra, los métodos probabilísticos necesitan de datos de caudales máximos instantáneos observados, por lo que se requiere para su aplicación de la existencia de una estación de aforos.

Cuando sea posible, se recomienda combinar ambos métodos, probabilístico e hidrometeorológico. Con carácter general, los resultados del método probabilístico para bajos y medios períodos de retorno se utilizarán para la calibración del modelo hidrometeorológico seleccionado, de tal forma que el modelo hidrometeorológico calibrado servirá para la estimación de los cuantiles de alto período de retorno. En la calibración y estimación final de cuantiles se tendrá en cuenta la incertidumbre real de cada uno de los métodos.

En la medida que el método probabilístico se vaya a utilizar para la calibración del modelo hidrometeorológico, la estación de aforos puede localizarse relativamente lejos de la Zona de Estudio, siempre y cuando las condiciones hidroclimáticas sean similares en las dos cuencas vertientes.

### Método probabilístico

#### Generalidades

El método probabilístico más habitual consiste en el ajuste de la función de distribución de probabilidad más adecuada a la serie de caudales instantáneos máximos anuales recogidos en una estación de aforos.

Las fases a seguir en el método probabilístico son:

1. Análisis de la información.
2. Ajuste de diversos modelos estadísticos.
3. Selección del mejor modelo estadístico.
4. Cálculo de los cuantiles.

En el caso de haber obtenido información de tipo no sistemática durante el Estudio Histórico y/o de Paleocrecidas, se utilizará esta información adicional en el análisis estadístico, con el objeto de disminuir la incertidumbre de los cuantiles estimados.

### Análisis de la información

El análisis de la información consistirá en la comprobación de la fiabilidad de la muestra observada, al objeto de identificar datos erróneos y la estacionaridad de la serie de caudales. En su caso y si es posible, se puede proceder a la eliminación de la estacionaridad detectada.

Para incrementar la longitud de la serie de caudales instantáneos, se recomienda el completado de datos a partir de la serie de datos de caudales diarios mediante técnicas estadísticas de regresión.

### Modelos estadísticos recomendados

Se entiende por modelo estadístico tanto la función de distribución de probabilidad como el método de estimación de sus parámetros.

Las funciones de distribución de probabilidad recomendadas para los caudales instantáneos máximos anuales en la Región de Murcia son:

- i) Pareto Generalizada de tres parámetros.
- ii) GEV, acrónimo de "General Extreme Value".
- iii) TCEV, acrónimo de "Two Component Extreme Value".

Pueden ser empleadas otras funciones de distribución, siempre que se compruebe que su comportamiento sea mejor que el de las anteriores. Sin embargo, dada su tendencia a la infravaloración en climas mediterráneos, queda desaconsejada el uso de la función de distribución Gumbel.

En cuanto a los métodos de estimación de parámetros se recomienda el empleo de uno de los siguientes:

- a) Máxima verosimilitud.
- b) L-momentos, también denominado PWM (acrónimo en inglés de "momentos probabilísticos compensados").

El método de los momentos sólo se admitirá en estudios con abundancia de información, bien por ser regionales, por incorporar información no sistemática o ambas situaciones.

### Criterios de selección del modelo

Para la selección del mejor modelo estadístico, se utilizará al menos la comparación gráfica en ejes probabilísticos con la función de distribución empírica (probabilidad de no excedencia de los valores observados) estimada con la expresión de Cunnane:

$$F_X(x_i^*) = \frac{i - \alpha}{n + 1 - 2\alpha}$$

donde n es la longitud de la muestra,  $x_i^*$  son los valores observados ordenados de menor a mayor, i es la posición en la muestra ordenada y  $\alpha$  es un parámetro de

mejora de la estimación que depende de la distribución de la población (con carácter general se recomienda adoptar un valor de 0,44).

Adicionalmente se podrán tener en cuenta el Principio de Parsimonia y, en menor medida, el resultado de un test estadístico de ajuste tipo Chi cuadrado o similar. El Principio de Parsimonia desaconseja como regla práctica los modelos estadísticos que den lugar a un ratio de menos de 15 datos por parámetro de la función de probabilidad.

#### **Series mixtas con ceros**

En el caso de que la serie de caudales contenga ceros (o valores que pueden ser considerados como correspondientes a crecidas de escasa magnitud), se realizará en primer lugar el análisis estadístico a la serie sin ceros (Y). Para calcular los cuantiles de la variable aleatoria original (X), se utilizará la siguiente expresión de su probabilidad de no excedencia:

donde p es la probabilidad de un dato nulo, obtenida a partir de la muestra.

#### **Bibliografía seleccionada**

Existen diversas publicaciones sobre el análisis estadístico de caudales de crecida. Se recomienda la consulta de las siguientes referencias:

Berga Casafont, L. (coordinador). Avenida de Proyecto. Comité Nacional Español de Grandes Presas, 1997.

Stedinger, J.R., R.M. Vogel y E. Foufula-Georgiu. Frequency Analysis of Extreme Events. En D. R. Maidment (editor), Handbook of Hydrology. McGraw-Hill. 1993.

En cuanto a la incorporación de información no sistemática en el análisis estadístico, se puede consultar:

Francés, F. Utilización de la información histórica en el análisis regional de las avenidas. Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería, Barcelona, 1995.

Francés, F. Flood frequency analysis using systematic and non-systematic information. En G. Benito y V.R. Thorndycraft (editores), Systematic, Paleoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation: Methodological Guidelines. Editorial del CSIC-Centro de Ciencias Medioambientales, Madrid, pp. 55-70, 2004.

#### **Fuentes de información**

Los datos de caudales de crecida registrados en la Región de Murcia se pueden obtener:

i) Los datos de las estaciones de aforo de la red tradicional, en la Confederación Hidrográfica del Segura o bien en el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

ii) La información para obtener los caudales de entrada a los embalses, en la Confederación Hidrográfica del Segura.

iii) Los datos continuos recogidos por la red SAIH, en la Confederación Hidrográfica del Segura.

iv) La información no sistemática será uno de los resultados del Estudio Histórico y/o de Paleocrecidas de la Zona de Estudio.

Es recomendable el estudio y visita de la estación de aforos para poder tener en cuenta la fiabilidad de los datos registrados.

## **Métodos hidrometeorológicos**

### **Generalidades**

Como método hidrometeorológico básico se recomienda emplear la modelación hidrológica pseudodistribuida basada en la utilización de hidrogramas unitarios (en adelante MHU). Debido fundamentalmente a las hipótesis relacionadas con la tormenta de diseño, se limita la aplicación de los procedimientos que se describen en estas directrices hasta un máximo de superficie de la cuenca vertiente de 1.000 km<sup>2</sup>.

Para cuencas menores de 20 km<sup>2</sup> se puede emplear el Método de Témez Modificado (en adelante MTM), recogido en una primera versión en la normativa nacional (Dirección General de Carreteras, 1990), pero incluyendo unas modificaciones posteriores que lo mejoran (Témez, 1991). Sin embargo, el MTM solo obtiene como resultado el caudal pico en el desagüe de la cuenca. Por ello, si se necesita para la modelación hidráulica el hidrograma de crecida o si en el interior de la cuenca existen endorreísmos o embalses que actúen como elementos laminadores, hay que utilizar necesariamente el MHU.

La recomendación de estos métodos no supone que no puedan utilizarse modelos y procedimientos más sofisticados, como pueden ser los modelos distribuidos, la simulación continua o la generación de tormentas sintéticas en el espacio y en el tiempo.

Dado que parte de los análisis son comunes al MTM y al MHU, en primer lugar se van a describir estos aspectos para, a continuación, detallar las especificidades de cada uno.

### **Análisis comunes**

#### *Delimitación y caracterización hidromorfométrica de la cuenca vertiente*

La delimitación de la cuenca vertiente a la Zona de Estudio podrá llevarse a cabo con la ayuda de Sistemas de Información Geográfica a partir de un Modelo de Evaluación Digital.

En cualquier caso, deberá verificarse la divisoria de aguas de la cuenca y su red de drenaje con los resultados del Inventario de cuencas y cauces naturales de la Región de Murcia, realizado en el año 2003 por la Dirección General de Ordenación del Territorio y Costas de la Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Deberán estimarse los parámetros hidromorfométricos necesarios para la modelización hidrológica, que serán al menos la superficie (A) y el tiempo de concentración (tc) de la cuenca vertiente o cuencas vertientes a la Zona de Estudio.

En cuanto al tiempo de concentración, se recomienda la expresión propuesta por Témez:

$$t_c = 0,3 \left( \frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0,76}$$

donde L y J son, respectivamente, la longitud (en km) y pendiente media (en tanto por uno) del cauce principal de la cuenca. Hay que tener en cuenta que esta expresión no es válida para cuencas fuertemente urbanizadas y/o con preponderancia de la escorrentía directa superficial, en las que tiende a sobrevalorar el tiempo de concentración.

**Caracterización de la producción de escorrentía superficial**

Se entiende por escorrentía superficial la suma de la escorrentía directa y del interflujo, que son aquellas que se producen en las laderas de la cuenca y son las causantes de los hidrogramas de crecida en los ríos.

Se recomienda el empleo del modelo de producción de escorrentía superficial del US Soil Conservation Service, en cuya adaptación española el parámetro fundamental se denomina umbral de escorrentía (P0).

El P0 depende de cuatro variables, que engloban buena parte de las características físicas de la cuenca: tipo de suelo (atendiendo fundamentalmente a su capacidad drenante), cubierta del suelo, pendiente del terreno y estado de humedad antecedente del complejo suelo-vegetación. La relación entre el P0 y las tres primeras variables es tabular, debiendo modificarse el valor obtenido en función del estado de humedad antecedente.

La estimación del P0 promedio en la cuenca se realizará mediante las Tablas adjuntas, adaptadas a las tipologías de cubierta y textura del suelo correspondientes a las leyendas de los mapas de la cartografía temática que se referencian posteriormente en el apartado de "fuentes de información".

En la utilización de las tablas anteriores, deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

i) Es necesaria la comprobación en campo de la cartografía temática empleada.

ii) Para los suelos estrechos y/o con problemas de hidromorfismo deberá modificarse el tipo de suelo obtenido según la Tabla 4.1, incrementándolo al consecutivo de menor capacidad drenante.

iii) Los terrenos con nivel freático próximo a la superficie deberán considerarse como de tipo D.

iv) Los terrenos aterrizados deben considerarse como de pendiente < 3%.

v) N denota condiciones favorables a la infiltración (como puede ser el cultivo según las curvas de nivel) y R denota condiciones no favorables a la infiltración (como puede ser el cultivo según la línea de máxima pendiente).

Tabla 4.1. Adaptación de las unidades de textura del suelo a grupos de suelo del SCS.

Grupo de suelo del SCS	Textura del suelo
A	Arenosa
	Arenoso-franca
B	Franco-arenosa
	Franca
	Franco-arcillo-arenosa
	Franco-limosa
C	Franco-arcillosa
	Franco-arcillo-limosa
D	Arcillosa
	Arcillo-limosa

**Tabla 4.2.** Estimación del  $P_0$  con condiciones medias de humedad antecedente, para la leyenda de la cartografía temática de la Región de Murcia.

Cubierta del suelo		Pendiente (%)	Suelo del SCS			
			A	B	C	D
Bosque denso	Con dominancia de frondosas		90	50	35	25
	Con dominancia de coníferas		75	34	22	16
Bosque claro			40	20	12	8
Matorral denso			60	24	14	10
Matorral claro y espartal			32	14	8	6
Regadío arbolado		$\geq 3$	80	34	19	14
		$< 3$	95	42	22	15
Secano arbolado		$\geq 3$	62	28	15	10
		$< 3$	75	34	19	14
Vid (secano o regadío)		$\geq 3$	62	28	15	10
		$< 3$	75	34	19	14
Regadío herbáceo	R	$\geq 3$	37	20	12	9
	N	$\geq 3$	42	23	14	11
	R/N	$< 3$	47	25	16	13
Secano herbáceo	R	$\geq 3$	29	17	10	8
	N	$\geq 3$	32	19	12	10
	R/N	$< 3$	34	21	14	12
Invernaderos		$\geq 3$	6			
		$< 3$	10			
Masas de agua y cauces permanentes			0			
Cauces efímeros		$\geq 3$	17	11	8	6
		$< 3$	20	14	11	8
Infraestructuras viarias			2			
Núcleos urbanos	Parques y jardines		20			
	Áreas residenciales		10			
	Áreas urbanas		6			
	Áreas industriales		5			
Afloramientos rocosos	Roca fracturada	$\geq 3$	3			
		$< 3$	5			
	Roca compacta	$\geq 3$	2			
		$< 3$	4			

#### Obtención de la precipitación diaria de cálculo

En la actualidad y en España, el mejor estudio de precipitación diaria máxima anual es el realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX para la Dirección General de Carreteras (1999). Se trata de un estudio regional a escala nacional que utiliza como función de distribución la función SQRT-ETmax de dos parámetros.

Desafortunadamente, dicho estudio utilizaba datos de precipitación hasta el año 1992, por lo que se recomienda aprovechar sólo el coeficiente de variación regional obtenido en el mismo (los valores oscilan entre 0,51 en la zona de la costa y 0,45 en el interior de la Región de Murcia) y actualizar el valor de la media que tenía un sentido más local y, por tanto, más sensible a la longitud de los datos empleados. Con la media actualizada y el coeficiente de

variación del Estudio del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, es posible calcular los dos parámetros de la función SQRT-ETmax y los cuantiles requeridos.

El cálculo de la media actualizada deberá minimizar el efecto de la alta correlación espacial entre estaciones pluviométricas cercanas. Para ello se propone un método consistente en:

1.- Generar, a partir de las series de las estaciones pluviométricas elegidas, una serie de "precipitación diaria areal máxima anual" para la cuenca o las diferentes subcuencas, en la que el valor de cada año se obtiene mediante combinación lineal de los valores de "precipitación diaria máxima anual" correspondientes a las estaciones que tengan registro dicho año. Los pesos de la combinación lineal de cada año o grupo de años se estimarán por

cualquier método de interpolación espacial (como pueden ser: polígonos de Thiessen, inverso de la distancia al cuadrado o técnicas de krigging), utilizando criterios hidrológicos para la selección de las estaciones y, si es necesario, corrección de los pesos por efecto del relieve. Se podrán estudiar simplificaciones en el cálculo de los pesos de cada año si el número de combinaciones de estaciones es muy elevado.

2.- A partir de la serie anterior, calcular la "precipitación diaria areal máxima anual media" para la cuenca o las diferentes subcuencas, a utilizar en la estimación de los parámetros de la función de probabilidad SQRT-ETmax.

*Función de reducción areal*

Para cuencas de extensión superior a 1 km<sup>2</sup>, los cuantiles de precipitación para cualquier duración temporal tienen que ser reducidos para tener en cuenta la no simultaneidad de la precipitación en toda la cuenca. La expresión recomendada, a falta de estudios específicos, es la obtenida por Témez para toda España:

$$K_A = 1 - \frac{\log A}{15}$$

donde A es la superficie de la cuenca en km<sup>2</sup>.

*Curva intensidad-duración-frecuencia*

La curva intensidad-duración-frecuencia (o IDF) recomendada es la también propuesta por Témez, que tiene la siguiente expresión:

$$\frac{i(t)}{i(d)} = \left[ \frac{i(1)}{i(d)} \right] \frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}$$

donde, para el período de retorno considerado, i(t) es la intensidad de la precipitación (en mm/h) para una duración t (en h), i(d) es la intensidad diaria (en mm/h), e i(1) la intensidad de 1 hora de duración (en mm/h). La relación entre la intensidad horaria y la diaria (denominada factor de torrencialidad) es un parámetro de la expresión anterior.

Se recomienda adoptar para la Región de Murcia un valor del factor de torrencialidad de 13. Este valor ha sido obtenido del análisis de los resultados del estudio "Estructura temporal de la precipitación en España. Obtención de las curvas IDF", realizado por el INM en Noviembre de 2003, correspondientes a las únicas estaciones pluviométricas de dicho estudio ubicadas en la Región de Murcia (Alcantarilla y San Javier) y para duraciones entre 5 minutos y 72 horas.

En cualquier caso, de forma similar a la curva de Témez, la intensidad de 28 horas obtenida por cualquier otra curva IDF ajustada, tiene que coincidir con la precipitación diaria máxima anual del mismo período de retorno.

*Calibración y validación*

Todos los métodos hidrometeorológicos aplicados en la actualidad al diseño hidrológico presentan un nivel de incertidumbre elevado, lo que obliga a su calibración y, si es posible, su validación. Esta incertidumbre tiene su origen

en los errores de la información utilizada y en la fiabilidad de las hipótesis realizadas. Las hipótesis que introducen mayor incertidumbre en los métodos recomendados en estas directrices son las referidas a la distribución espacio-temporal de la tormenta de diseño, la asignación de probabilidad al caudal pico o hidrograma que genera dicha tormenta y la condición de humedad inicial asumida.

Si existe información suficiente, parte se utilizará para la calibración de los parámetros del modelo y otra parte para su validación. La validación consistirá en la comprobación del modelo calibrado en un escenario distinto en el tiempo, en el espacio o en su probabilidad.

**Método de Témez Modificado (MTM)**

*Fases*

Las fases a seguir en el MTM son:

1. Delimitación y caracterización hidromorfológica de la cuenca vertiente.
2. Caracterización de la producción de escorrentía superficial.
3. Estimación de los cuantiles de precipitación diaria máxima anual.
4. Cálculo de los caudales pico de crecida.
5. Calibración y validación del modelo.

*Aplicación*

La metodología de Témez está basada en el Método Racional, de tal forma que el caudal pico de crecida se estima según la expresión:

donde C es el coeficiente de escorrentía, I la intensidad media de la tormenta de diseño sobre toda la cuenca, A la superficie de la cuenca y K el coeficiente de uniformidad temporal.

Sin embargo, el coeficiente de escorrentía no es constante sino que depende tanto del parámetro de producción del Soil Conservation Service, como de la magnitud del aguacero, mediante la expresión:

$$C = \frac{\left[ \left( \frac{K_A P_d}{P_0} \right) - 1 \right] \left[ \left( \frac{K_A P_d}{P_0} \right) + 23 \right]}{\left[ \left( \frac{K_A P_d}{P_0} \right) + 11 \right]^2}$$

donde P<sub>0</sub> es el umbral de escorrentía promedio en la cuenca y P<sub>d</sub> el cuantil de precipitación diaria areal máxima anual en la cuenca correspondiente al período de retorno considerado, que deberá ser corregido por el coeficiente de reducción areal K<sub>A</sub>.

Como hipótesis fundamental del Método Racional, la intensidad I es la correspondiente a una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, obtenida a partir de la curva IDF y corregida también por el coeficiente de reducción areal K<sub>A</sub>. Es decir:

$$I = i(t_c) K_A$$

Por último, la expresión del coeficiente de uniformidad temporal  $K$  propuesto por Témez es función del tiempo de concentración de la cuenca (en horas):

$$K = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

Dado que el problema a resolver está enfocado a una Zona de Estudio, aunque sea necesario obtener resultados en más de un punto por razones de la modelación hidráulica, los valores de la superficie y el tiempo de concentración tienen que ser los correspondientes a toda la cuenca vertiente a la Zona de Estudio.

#### *Calibración y validación*

El MTM se calibra habitualmente mediante un factor corrector del valor de  $P_0$  estimado para toda la cuenca. Para ello se puede utilizar, en función de la información disponible y de su fiabilidad:

- i) Un conjunto suficiente de episodios registrados de precipitación diaria y caudal máximo.
- ii) Los cuantiles obtenidos por el método probabilístico.

La calibración del MTM con los cuantiles es más estable normalmente que con eventos, dado que es un método enfocado al diseño hidrológico en vez de a la simulación hidrológica.

En caso de no realizar esta calibración específica, se utilizará como factor corrector de  $P_0$  en toda la Región de Murcia el valor de 1,5. Este valor es el resultado del análisis de la aplicación del MTM en la cuenca vertiente a la estación de aforos de Librilla en la Rambla de Algeciras, utilizando la cartografía temática que se recoge en el apartado de "fuentes de información". Es necesario señalar que la utilización de otra cartografía temática podría dar lugar a un factor corrector distinto.

### **Modelo hidrológico pseudodistribuido basado en HU (MHU)**

#### *Fases*

Las fases a seguir con el MHU son:

1. Identificación y caracterización hidromorfométrica del sistema hidrológico.
2. Caracterización de la producción de escorrentía superficial.
3. Estimación de los cuantiles de precipitación diaria máxima anual.
4. Determinación de las tormentas de diseño.
5. Cálculo de los hidrogramas de crecida.
6. Calibración y validación del modelo.

#### *Aplicación*

La división de la cuenca en subcuencas realizada en los modelos pseudodistribuidos pretende incorporar la variabilidad espacial del comportamiento hidrológico del sistema en la modelización. A tal efecto, deberán tenerse en cuenta los criterios de homogeneidad en la hidromorfometría, en el parámetro de producción de escorrentía, y en

las características de la precipitación. En cualquier caso, la máxima superficie de las subcuencas será de 20 km<sup>2</sup>.

Así, el sistema hidrológico quedará conceptualizado mediante una serie de subcuencas, tramos de cauce (por los cuales tiene lugar la propagación de los hidrogramas de crecida producidos en las subcuencas ubicadas aguas arriba), nodos (puntos de confluencia de subcuencas y/o tramos de propagación), y, en su caso, nodos con capacidad laminadora (embalses, lagos, zonas endorreicas, etc.).

Deberán estimarse los parámetros que caracterizan el comportamiento hidrológico de cada uno de los elementos que componen el sistema hidrológico; éstos podrán diferir en función del modelo empleado para simular las distintas fases del proceso lluvia-escorrentía, pero los más básicos son los siguientes:

- i) A nivel de subcuenca: superficie, tiempo de concentración y parámetros de producción para condiciones medias de humedad inicial. Por tanto, en el caso de  $P_0$  se adoptarán los valores tabulados.
- ii) A nivel de tramo de cauce: longitud, pendiente media, secciones transversales tipo y coeficientes de rugosidad de Manning.
- iii) A nivel de embalse (o endorreísmo): curva de embalse (función de almacenamiento) y función de descarga.

Si la variabilidad espacial de la precipitación diaria es significativa, deberá construirse un hietograma de diseño para cada subcuenca o conjunto de subcuencas del sistema. Salvo justificación, estos hietogramas seguirán los siguientes criterios de diseño:

- a) Se adoptará una duración total de 24 horas, con la que se intenta reproducir en el momento del pico la condición de humedad antecedente habitual en un evento de crecida en clima mediterráneo semiárido.
- b) La discretización temporal del hietograma será como máximo el menor de 0,2 el tiempo de concentración de la cuenca y 30 minutos.
- c) La distribución temporal de la tormenta se realizará por el método de los bloques alternos a partir de la curva IDF estimada.
- d) Podrá asumirse simultaneidad temporal en toda la extensión de la cuenca.
- e) Todos los hietogramas de subcuenca se verán afectados por el mismo coeficiente de reducción areal, adoptando como superficie la de la totalidad de la cuenca vertiente a la Zona de Estudio.

Si no se va a realizar una calibración específica del modelo a partir de eventos registrados, se recomienda como hidrograma unitario en cada subcuenca el HU sintético del US Soil Conservation Service, con una estimación del tiempo de desfase del pico del HU igual a 0,35 el tiempo de concentración obtenido por la expresión de Témez.

Para la propagación a nivel de tramo de cauce se utilizarán exclusivamente modelos de tipo hidráulico, como son la Onda Cinemática y la Onda Difusiva (o su equiva-

lente denominado Método de Muskingum-Cunge), por contar con una cierta base física al ser simplificaciones de las ecuaciones de Saint-Venant. Las discretizaciones temporal y espacial en cada tramo de cauce garantizarán la convergencia y estabilidad de la solución numérica.

Para la laminación en embalses, lagos y endorreísmos se empleará el método de Puls Modificado. En el caso de los embalses, se adoptarán las Reglas de Operación que oficialmente se dispongan. Si éstas no existen, se asumirá que el embalse se encuentra lleno y que válvulas intermedias y compuertas de superficie permanecen abiertas durante todo el evento, mientras que los desagües de fondo se supondrán cerrados.

#### *Calibración y validación*

Con los modelos hidrometeorológicos es imprescindible la calibración de los parámetros con mayor incertidumbre en su estimación. Por tanto, en las combinaciones de submodelos propuestas para el MHU, es necesaria la calibración de:

- i) Un factor corrector del mapa de P0.
- ii) Los tiempos de concentración utilizados en los HU de cada subcuenca.

Para ello se puede utilizar, en función de la información disponible y de su fiabilidad:

- a) Un conjunto suficiente de episodios registrados de precipitación y caudales con la discretización temporal adecuada.
- b) Los cuantiles obtenidos por el método probabilístico.

En caso de no poder realizar esta calibración específica, se adoptará un factor corrector del mapa de P0 igual a 1. Análogamente al MTM, este valor es el resultado del análisis de la aplicación del MHU en la cuenca vertiente a la estación de aforos de Librilla en la Rambla de Algeciras, utilizando la cartografía temática que se recoge en el apartado de "fuentes de información". De nuevo es necesario señalar que la utilización de otra cartografía temática podría dar lugar a un factor corrector distinto.

#### **Bibliografía seleccionada**

Existen múltiples libros de Hidrología que cubren diversos aspectos de la transformación de la precipitación en escorrentía, por lo que no se va a citar a ninguno en especial. Son menos de los que se puede obtener información específica sobre los métodos hidrometeorológicos descritos en este capítulo. Entre estos últimos, se recomienda la consulta de las siguientes referencias:

Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y Dirección General de Carreteras. Máximas lluvias diarias en la España Peninsular. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Fomento (en papel y en CD con documento, mapas y programa MAXPLUWIN), 1999.

Dirección General de Carreteras. Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial. Servicio de Publicaciones del MOPU, 1990.

Ferrer, F. J. Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, 1993.

Francés García, F., Albentosa Hernández, E., Bellver, V. y Marco Segura, J. Hidrología Básica para Ingenieros. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, 2002.

Montalbán Comas, F. (coordinador). Recomenacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local. Agència Catalana de l'Aigua, 2003.

Témez, J. R. Extended and improved rational method. Version of the highways administration of Spain. En Actas del XXIV Congreso de la IAHR en Madrid, 1991.

#### **Fuentes de información**

Los datos de precipitación diaria máxima anual se pueden obtener del INM.

El coeficiente de variación de la precipitación diaria máxima anual se puede estimar a partir de los mapas de isóneas del estudio de Máximas lluvias diarias en la España Peninsular, ya mencionado, o del programa asociado MAXPLUWIN.

Las características de los embalses deben obtenerse de la Confederación Hidrográfica del Segura. En el caso de endorreísmos a partir del MED y trabajo de campo.

Los episodios de crecida (lluvia y caudales) se pueden obtener del SAIH de la Confederación Hidrográfica del Segura. Información adicional sobre la precipitación a partir de los pluviómetros y pluviógrafos del INM.

En cuanto a información cartográfica temática en soporte digital, de la Dirección General de Ordenación del Territorio y Costas de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio se puede obtener:

- i) MED en formato vectorial (Mapa Topográfico Regional MTR5 a escala 1:5.000 de la Región de Murcia).
- ii) MED en formato ráster de la Región de Murcia, realizado por la Dirección General antes citada, con tamaño de celda de 10 m.

iii) Mapa de Usos del Suelo. Año 2003. Realizado en el marco del "Convenio análisis de riesgo y zonificación territorial ante el riesgo de inundaciones en la Región de Murcia: Zonas afectadas por avenidas de cuencas hidrográficas en régimen natural". Este convenio fue realizado por el INUAMA y la Dirección General de Protección Civil.

iv) Mapa de Texturas. Año 1999. Fuente: Mapa de Suelos en Formato Digital de de la Región de Murcia. Editado por la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Este documento se basó en el proyecto LUCDEME.

v) Delimitación de cuencas y red de drenaje. Año 2003. Dentro del Inventario de cuencas y cauces naturales de la Región de Murcia.

vi) Listados de embalses y zonas endorreicas. Año 2003. Dentro del Inventario de cuencas y cauces naturales de la Región de Murcia.

Toda la información hidrológica tiene que verse corroborada en una visita de campo de la cuenca vertiente a la Zona de Estudio.

## Resultados

### Método probabilístico

Será exigible, al menos, la siguiente información:

- i) Listados de las series originales de aforos empleadas, con los estadísticos básicos de las mismas.
- ii) Localización de la o las estaciones de aforo.
- iii) Justificación de la elección del modelo estadístico, incluyendo al menos la representación gráfica de la comparación de los distintos modelos con la función de distribución empírica.
- iv) Para el modelo seleccionado, valores de sus parámetros y de los cuantiles resultantes.

### Método hidrometeorológico

Para el análisis estadístico de la precipitación diaria máxima anual será exigible al menos la siguiente información:

- i) Listados de las series originales de precipitación diaria utilizadas.
- ii) Mapa informativo de localización de las estaciones pluviométricas.
- iii) Media y coeficiente de variación estimados.
- iv) Valores de los parámetros de la función de distribución de probabilidad SQRT-ETmax y de los cuantiles calculados.

Para el MTM:

- i) Caracterización del sistema hidrológico:
  - a. Mapa de la Cuenca con la divisoria de aguas y la red de cauces.
  - b. Mapas informativos de cubierta del suelo, clasificación del suelo y pendiente topográfica en la cuenca.
  - c. Mapa informativo de valores de P0 estimados.
  - d. Valores de los parámetros hidromorfométricos básicos y del P0 a escala de cuenca.
- ii) Listado de los cuantiles de caudal pico resultantes.

Para el MHU:

- i) Caracterización del sistema hidrológico:
  - a. Mapa de la Cuenca con las divisorias de aguas de las subcuencas, la red de cauces y, en su caso, la ubicación de embalses o endorreísmos en la cuenca.
  - b. Esquema conceptual del sistema hidrológico.
  - c. Mapas informativos de cubierta del suelo, clasificación del suelo y pendiente topográfica en la cuenca.
  - d. Mapa informativo de valores de P0.
  - e. Valores de los parámetros hidromorfométricos básicos, del P0 y parámetros de propagación correspondientes a cada elemento del sistema hidrológico.
- ii) Listados y gráficos de los hidrogramas de crecida y listados del caudal máximo, tiempo al pico y volumen total de las diferentes simulaciones realizadas.
- iii) Listados de salida, así como informes de advertencias y errores, de las simulaciones realizadas obtenidos con el software empleado.

Si se realiza algún tipo de calibración y validación específica, tanto para el MTM como el MHU:

- i) Listados con los valores originales de precipitación y caudal de los episodios de crecida empleados.
- ii) Justificación de la calibración seleccionada.
- iii) Valoración de la validación, si ha sido posible su realización.

## Estudio hidráulico

### Objetivos

Partiendo del conocimiento sobre los mecanismos de inundación obtenido en los estudios Geomorfológico e Histórico y de los hidrogramas o caudales máximos resultantes del Estudio Hidrológico, los objetivos del Estudio Hidráulico, tanto en la situación actual como en la futura, son para cada período de retorno:

- i) Obtener los calados máximos alcanzados.
- ii) Definir la Zona de Inundación.
- iii) Si fuera necesario, obtener la distribución de velocidades máximas en la Zona de Inundación.

A partir de estos resultados se elaborarán los Mapas de Riesgo y de Síntesis correspondientes.

### Método

#### Tipos de flujo y modelos de inundación

El flujo en lámina libre (y los modelos correspondientes) que se puede desarrollar durante una inundación, puede clasificarse en: estacionario o transitorio; unidimensional o bidimensional; y de lecho fijo o móvil.

Los modelos bidimensionales a su vez pueden clasificarse en modelos bidimensionales puros, mixtos (división del espacio en zonas unidimensionales y bidimensionales), quasi-bidimensionales (redes de flujo unidimensionales) y de celdas conceptuales (basados en las ecuaciones de balance y descarga no lineal).

En principio se podrá asumir que el flujo es estacionario, unidimensional y de lecho fijo. Sin embargo:

i) En tramos de cauce de más de 6 km o en los que existan elementos que produzcan fenómenos de laminación no considerados en la modelación hidrológica, no podrá utilizarse la hipótesis de flujo estacionario. En estos casos se puede recurrir a una de las siguientes opciones:

a. Simulación de la laminación por medio del modelo hidrológico, de tal forma que se obtengan variaciones de caudal en diferentes tramos a introducir en el modelo hidráulico.

b. Utilización de un modelo hidráulico no estacionario.

ii) Si existe la posibilidad de rotura de algún elemento con capacidad de almacenamiento, tendrá que utilizarse necesariamente un modelo transitorio.

iii) En los modelos unidimensionales con velocidad constante en la sección, conviene confirmar que los calados resultantes quedan del lado de la seguridad. En aquellas secciones donde no fuera así, se tienen las siguientes alternativas:

- a. Modificar el coeficiente de Coriolis.
- b. Incluir áreas no efectivas de flujo.
- c. Asumir una velocidad variable a lo ancho de la sección transversal.

iv) Si es necesaria la determinación de las velocidades del flujo y se utiliza un modelo unidimensional, el modelo tendrá que poder asumir una velocidad variable a lo ancho de la sección transversal.

v) Para la resolución del flujo bidimensional podrán utilizarse un modelo unidimensional, siempre y cuando se justifique adecuadamente que esta simplificación queda del lado de la seguridad.

vi) En particular, en inundaciones que afecten a zonas urbanas podrá utilizarse un modelo unidimensional si las direcciones dominantes de flujo son relativamente paralelas al cauce, aunque también será necesario justificar adecuadamente que esta simplificación queda del lado de la seguridad.

vii) Si el lecho es móvil, podrá utilizarse un modelo de lecho fijo pero adoptando las secciones que dejen el resultado del lado de la seguridad.

En cauces con régimen supercrítico en los que el número de Vedernikov supere la unidad, debe justificarse cuidadosamente el cálculo realizado, ya que el riesgo de inestabilidad es alto. El número de Vedernikov viene dado por la siguiente expresión:

$$V = \frac{2}{3} \left( 1 - R_h \frac{dP_m}{dS_m} \right) F$$

donde F es el número de Froude,  $R_h$  el radio hidráulico,  $P_m$  el perímetro mojado y  $S_m$  la sección mojada.

Así mismo, en los casos en los que la pendiente longitudinal del cauce supere el valor del 10%, los resultados de los modelos habituales dejarán de considerarse fiables, salvo que éste sea capaz de reproducir estas situaciones en las que el coseno de la pendiente se aleja de la unidad, la distribución vertical de presiones no se puede aproximar por la hidrostática y en las que existen fuerzas centrífugas verticales no despreciables. Además, en estos casos, con velocidades superiores a 6 m/s se produce un esponjamiento de la lámina de agua y posibles despegues de la misma respecto del fondo del lecho.

### Aplicación

#### *Caracterización previa del ámbito de estudio*

Debe identificarse el tramo a modelar que no tiene porque coincidir con la zona a estudiar, sino que a menudo debe extenderse aguas arriba o aguas abajo, buscando unas condiciones de contorno adecuadas para el problema. Esta delimitación deberá justificarse convenientemente.

Antes de realizar la primera visita a campo, deben definirse sobre los mapas a la escala adecuada las secciones que puedan interesar para definir geoméricamente el tramo a estudiar (cambios sección, de dirección en planta, distintas pendientes, etc.). Sobre el terreno han de validarse estas secciones, completándolas si fuera necesario.

A partir de los resultados de los estudios Geomorfológico e Histórico y de las visitas de campo, deberá preverse el modo en que vaya a circular el flujo en el cauce y en las llanuras de inundación, para darle a las secciones transversales la orientación adecuada. La orientación de las secciones transversales puede depender del período de retorno, aunque sólo será necesario considerar estos cambios de orientación, si aparecen variaciones significativas en la dirección del flujo.

#### *Elaboración del modelo geométrico*

Previamente a la simulación hidráulica debe elaborarse un modelo geométrico que sirva de soporte físico al estudio.

Las edificaciones deben considerarse como elementos sólidos que restan capacidad hidráulica a la sección transversal. Nunca deben sustituirse por una rugosidad más alta.

Las secciones transversales que siempre deben definirse son aquellas en las que:

- i) puedan existir estructuras transversales en el cauce como puentes, azudes, caídas o escalones;
- ii) se produzcan estrechamientos o ensanchamientos bruscos, transiciones;
- iii) exista algún tipo de elemento como compuertas, vertederos o aforos;
- iv) haya cambios en la geometría o en el material de cajeros y/o solera.

En tramos prismáticos o aproximadamente prismáticos, la distancia entre secciones medidas en campo no debe superar los 250 m o 15 veces el ancho medio del cauce. En el resto de situaciones el espaciamiento será menor, con los criterios expuestos en el párrafo anterior.

En el modelo deben interpolarse las secciones a una distancia como mínimo igual al ancho del cauce, y como máximo 6 veces dicho ancho.

En la elaboración del modelo geométrico debe realizarse un levantamiento topográfico de las secciones transversales o bien un vuelo fotogramétrico o de radar. Las secciones con lámina de agua deben completarse mediante una batimetría. El ancho del levantamiento debe abarcar una franja hasta una cota suficiente como para que el modelo geométrico no quede corto al realizar la simulación hidráulica.

Es necesario realizar una medición precisa para definir las secciones transversales, tanto en anchos como en cotas. Los criterios de precisión a seguir son los siguientes:

- i) El error admisible para la medición de las secciones en los cauces será de 20 cm respecto al eje vertical, y del 5% para la sección mojada respecto a cada período de retorno considerado en la modelación.
- ii) El error admisible para la pendiente global del cauce no debe superar el 5%, o bien el valor de una diezmilésima (0,0001), adoptando el menos restrictivo entre ambos.
- iii) El error admisible para la medición de secciones en las que haya estructuras transversales será de 2 cm.

iv) En el llano de inundación, el error en las cotas será inferior a 20 cm. La posición en planta podrá basarse en una cartografía 1:1.000. Se tendrá especial cuidado en incluir las infraestructuras lineales que puedan condicionar el flujo.

#### *Motas*

Las motas o bermas de cada sección deben definirse de modo correcto, de forma que no se produzca flujo en el exterior del cauce, si no se ha sobrepasado el nivel de la mota en otra sección que esté conectada hidráulicamente. Estas motas deben representarse posteriormente en las secciones transversales.

#### *Caudales de diseño*

Si la modelación es estacionaria, los caudales de diseño serán los máximos para cada período de retorno. Si es transitoria, se adoptarán los hidrogramas completos.

En caso de existir confluencias de afluentes o colectores urbanos importantes, se considerarán los caudales incorporados en cada punto en base a los cálculos realizados en el estudio hidrológico. De este modo, el caudal a modelar en el cauce principal será variable a lo largo de su recorrido. En este caso, debe modelarse un cierto tramo del cauce secundario para asegurarse que su funcionamiento no afecta al del principal.

Dada la información y tecnología disponible en la actualidad, como simplificación admisible se considerará que la densidad del flujo en la avenida es similar al del agua limpia, es decir  $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$ , así como la viscosidad cinemática del mismo  $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , salvo que se disponga de datos suficientes más precisos.

#### *Condiciones de contorno*

Deben identificarse las condiciones de contorno adoptadas, que habitualmente no se localizan exactamente en el límite del problema a resolver. Además, las condiciones de contorno pueden variar para cada período de retorno. En cualquier caso, las condiciones de contorno adoptadas en el modelo deberán ser coherentes con el tipo de régimen existente.

Las condiciones de contorno más habituales son las siguientes:

#### *Desembocaduras*

En funcionamiento subcrítico, debe adoptarse como condición de control el mayor entre el calado crítico y el nivel de la masa de agua a la que se desemboca. Este nivel puede ser variable a lo largo del tiempo.

Si no existe información suficiente, en el caso de desembocaduras en ríos, lagos o embalses se adoptará el nivel razonable más desfavorable.

En las desembocaduras en el mar, hay que tener en cuenta la posibilidad de la coincidencia de la inundación con una marea meteorológica y, en caso de temporal, el efecto del oleaje en los niveles medios del mar en la costa. Por ello, a falta de un estudio específico, se asumirán las siguientes sobreelevaciones, comunes para todos los períodos de retorno y fruto del análisis de los resultados del estudio "Atlas de inundación del litoral peninsular español"

elaborado por el Grupo de Ingeniería de Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria para el Ministerio de Medio Ambiente:

i) Al Norte del Cabo de Palos: 1,2 metros

ii) Al Sur del Cabo de Palos: 1,4 metros

#### *Estructuras sobre el cauce*

Los estrechamientos de estas estructuras pueden generar un control hidráulico al producirse un posible régimen crítico, que habrá que justificar.

#### *Caídas hidráulicas*

La condición de contorno a adoptar será la de régimen crítico en la misma, ubicándose en la sección correspondiente al cambio de pendiente. Deberá justificarse la pendiente suave aguas arriba de la caída, y la pendiente fuerte aguas abajo de la misma, para los diferentes caudales de estudio.

#### *Caídas libres hidráulicas*

En el caso de caídas libres hidráulicas siempre existirá un régimen crítico en la misma. La expresión empleada habitualmente para la obtención del calado crítico, correspondiente a la hipótesis de flujo gradualmente variado, se aplicará en una sección situada aguas arriba de la caída libre a una distancia de 3 veces dicho calado crítico. Como simplificación también se admite situar la sección crítica en la propia caída, dado que queda del lado de la seguridad desde el punto de vista del remanso aguas arriba.

#### *Tramos prismáticos*

Los tramos prismáticos, rectilíneos, de rugosidad constante y longitud suficiente, pueden servir para acotar los límites del problema. En ellos podrá suponerse como condición de contorno el régimen uniforme, siempre y cuando se justifique apropiadamente. Esta condición se ubicará hacia aguas arriba en caso de régimen supercrítico, y aguas abajo en régimen subcrítico.

En tramos que sin ser totalmente prismáticos, se asemejen a los anteriores, podrá considerarse esta condición, siempre que se justifique adecuadamente y se realice un análisis de sensibilidad específico.

#### *"Downscaling"*

En problemas locales inmersos dentro de grandes zonas de inundación que ya han sido modelizadas, se podrá utilizar como condiciones de contorno los estados de flujo obtenidos con el modelo general.

#### *Rugosidad del lecho*

La adopción de rugosidades dependerá directamente de la inspección visual realizada en campo. En la tabla adjunta se recomiendan algunos valores habituales, expresando la rugosidad según el número de Manning. Los valores mínimo y máximo expresan el rango posible en función de aspectos no medibles como la presencia de obstáculos adicionales, la estructura de la vegetación, etc. Por contra, los valores de dicha tabla no incluyen las pérdidas de energía por cambios en la dirección del flujo o de la sección.

Tabla 5.1. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning en función del tipo de superficie.

Tipo de superficie	Mínimo	Habitual	Máximo
En el cauce			
Terreno excavado sin vegetación	0,021	0,023	0,028
Terreno excavado con gravas sin vegetación	0,022	0,025	0,030
Terreno excavado con vegetación escasa (malezas)	0,024	0,028	0,033
Terreno excavado pedregoso y con malezas	0,027	0,032	0,040
Terreno excavado sin mantenimiento y matorrales densos	0,045	0,065	0,110
Excavado en roca	0,030	0,032	0,045
Hormigón	0,013	0,016	0,018
Escollera colocada	0,019	0,022	0,026
Escollera sin colocar	0,022	0,032	0,038
Gaviones	0,020	0,027	0,035
Revegetado artificial	0,027	0,038	0,500
Terreno natural sin vegetación	0,025	0,031	0,035
Terreno natural con vegetación escasa	0,035	0,043	0,050
Terreno natural pedregoso y con malezas	0,045	0,053	0,060
Terreno natural sin mantenimiento y matorrales densos	0,075	0,100	0,140
En el llano de inundación			
Calles	0,012	0,020	0,030
Pastizales	0,028	0,031	0,042
Parcela agrícola sin cultivar	0,020	0,026	0,040
Cultivos de huerta	0,025	0,035	0,045
Cultivos arbóreos	0,030	0,040	0,060
Vegetación pobre	0,035	0,040	0,060
Vegetación densa	0,045	0,070	0,110
Vegetación densa y arbolado	0,080	0,135	0,250

En el caso de arbolado, los valores tabulados son para calados que no alcancen la copa de los árboles, en cuyo caso tendrán que ser convenientemente incrementados.

Para cada tipo de superficie deberá tenerse en cuenta la posible variación de rugosidad a lo largo del tiempo. En los cauces naturales por modificación de la cubierta vegetal o de los materiales del lecho, mientras que en los encauzamientos por envejecimiento o deterioro del estado de los cajeros y solera.

En el caso de que la rugosidad sea variable dentro de una misma sección transversal, deberán introducirse en el modelo sus diferentes valores a lo largo la misma, o bien emplearse alguna formulación que estime la rugosidad equivalente en cada sección.

**Pérdidas de energía localizadas**

Deben considerarse convenientemente. Las más habituales son:

**Por estructuras**

Para el caso de puentes y estructuras asimilables, cabe recomendar la formulación experimental de Yarnell o expresiones basadas en el balance de energía, siempre y cuando tengan en cuenta el ángulo de esviaje de pilas y estribos, sus formas y las zonas de sombra del flujo.

**Por cambios en la sección**

Cuando haya cambios de sección se adoptarán unos coeficientes que consideren las pérdidas localizadas por alteraciones en la dirección del flujo, turbulencias, y por su aceleración y deceleración. En el caso de contracciones puede considerarse la expresión:

$$\Delta E = K_c \frac{v_2^2}{2g}$$

Mientras que en caso de expansiones de flujo, las pérdidas pueden estimarse como:

$$\Delta E = K_e \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

donde v2 es la velocidad del flujo en la sección ubicada aguas abajo, v1 la velocidad del flujo en la sección ubicada aguas arriba, Kc el coeficiente de pérdidas en la contracción y Ke el coeficiente de pérdidas en la expansión. Los coeficientes recomendados se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 5.2. Valores de los coeficientes de pérdidas de energía por cambio de sección.

Tipo de flujo	Expansiones (Ke)			Contracciones (Kc)	
	Bruscas	No bruscas	Suaves	Bruscas	No bruscas
Subcrítico	0,85	0,5	0,3	0,1	0,06
Supercrítico	1,1	0,7	0,45	0,15	0,09

**Sobreelevación en curvas**

En curvas forzadas, en las que la diferencia entre el ángulo de entrada y salida del eje del cauce supere los 70 grados sexagesimales en régimen subcrítico, y los 40 grados en régimen supercrítico, debe calcularse la sobreelevación producida en la parte exterior de la misma mediante un balance de fuerzas que incluya el efecto de la aceleración centrífuga.

**Pasos inferiores y alcantarillas**

Para tener en cuenta el efecto de taponamiento en secciones cerradas de cauce, pasos inferiores, cajones, alcantarillas, etc., se considerará como sección hidráulica útil de cálculo la obtenida mediante la siguiente expresión:

Sc = 0 si Ss < 0.5 m2, o bien, si no se puede inscribir en la sección un círculo de diámetro mayor que 0.5 m.

Sc = 2 Ss - 1 si 0.5 m2 < Ss < 1 m2.

Sc = Ss si Ss > 1 m2.

donde Sc es la sección de cálculo en el modelo y Ss la sección real.

Si se produce la entrada en carga de algún elemento de este tipo, debe prestarse especial atención a la correcta resolución hidráulica por parte del modelo del tramo en presión, justificándola si es preciso, pues al no estar concebidos para tal fin pueden presentar resultados erróneos.

### Rejas

No se considerará como libre la sección transversal de las rejas, salvo que su diseño garantice su no atascamiento. En este caso, habrá que considerar la pérdida de energía correspondiente.

### Calibración y validación

La existencia de episodios históricos que estén bien documentados posibilita la calibración, aunque debe tenerse en cuenta la incertidumbre del caudal medido. La calibración debe realizarse respecto a los parámetros que presenten mayor incertidumbre, que habitualmente suele ser la rugosidad.

### Análisis de sensibilidad

Resulta necesario para valorar la fiabilidad de los resultados obtenidos frente a la variación de los parámetros más significativos del modelo. Para ello será necesario realizar este análisis frente a variaciones de:

- i) Rugosidad.
- ii) Condiciones de contorno, en la medida que presenten incertidumbre.
- iii) Caudales de diseño.

### Elaboración de la cartografía de inundación

Los planos de inundación pueden elaborarse directamente a partir de los resultados del modelo, trasladando las cotas de agua a la cartografía o bien utilizando una interfase entre el modelo hidráulico y el modelo geométrico.

Este apartado debe exponer los criterios que se hayan seguido para trazar la lámina de inundación a partir de los resultados del modelo, teniendo en cuenta aspectos como:

- i) Existencia de terraplenes, motas, etc. que puedan interferir de modo directo en la lámina de inundación.
- ii) Estructuras y obstáculos transversales en el cauce, en donde pueden producirse alteraciones significativas de la lámina libre a nivel local.
- iii) Áreas de flujo inefectivo que puedan generarse a causa del nivel de inundación.
- iv) Existencia de perfiles invertidos, en donde el área de inundación se extienda de modo inusual frente a la magnitud del nivel desbordado.
- v) Posibilidad de rotura de motas; cuando el nivel de la mota se vea prácticamente alcanzado por la inundación simulada, debe preverse la posibilidad de rotura de la misma en la lámina de inundación, o bien reflejar dicho riesgo en las conclusiones del estudio.

### Bibliografía seleccionada

Existen múltiples libros de Hidráulica en lámina libre, entre los que cabe recomendar en castellano:

Chow, V. T. Hidráulica de canales abiertos. McGraw Hill, 667 pp., 1994.

Naudascher, E. Hidráulica de canales. Editorial Limusa, 381 pp., 2002.

Aunque la hipótesis asumida por defecto en estas directrices es la de lecho fijo, no cabe olvidar la posibilidad

de tener que modelizar la Zona de Estudio con la hipótesis de lecho móvil, o al menos tenerlo en cuenta en la evaluación de los resultados obtenidos. De los libros de Ingeniería e Hidráulica fluvial existentes, se recomienda el siguiente:

Simons, D. B. y F. Senturk. Sediment transport technology: water and sediment dynamics. Water Resources Publications, 897 pp., 1992.

### Fuentes de información

La información topográfica podrá obtenerse de:

- i) Perfiles transversales previos existentes en estudios y proyectos de la Confederación Hidrográfica del Segura.
- ii) Mapa Topográfico Regional MTR5 Escala 1:5.000.
- iii) Mapas Topográficos de núcleos urbanos MTU1 Escala 1:1.000.
- iv) Mapas Topográficos de núcleos urbanos MTU0.5 Escala 1:500.
- v) Trabajo topográfico de campo.

La determinación de las rugosidades estará fundamentada en el trabajo de campo.

### resultados

Deben indicarse los criterios seguidos en la elaboración del modelo, como:

- i) Aspectos referidos a la caracterización del ámbito de estudio, y a la elaboración del modelo geométrico.
- ii) Justificación de las condiciones de contorno escogidas, para cada período de retorno.
- iii) Rugosidades adoptadas. Tanto en este caso como en el anterior se recomienda acompañar con fotografías que las caractericen.

Los resultados de la modelación hidráulica deben recogerse en tablas para la totalidad del tramo modelizado, cada una para cada período de retorno, en las que se consignará:

- a) Caudal.
- b) Cota de solera.
- c) Cota de la lámina de agua.
- d) Velocidad del flujo.
- e) Calado.
- f) Número de Froude.
- g) Pendiente hidráulica y pendiente de la solera
- h) Rugosidad media de la sección.

Igualmente será exigible:

i) El análisis de sensibilidad, que vendrá resumido en tablas de variación de los calados en secciones representativas.

ii) En caso de analizar la influencia de actuaciones concretas, deberá presentarse una tabla con las diferencias de niveles que provoca la actuación.

iii) Si la resolución se lleva a cabo mediante un modelo informatizado, es necesario presentar el listado de avisos y errores que este tipo de programas obtiene.

En cuanto a resultados gráficos se presentarán los siguientes:

a) Para las secciones no interpoladas para cada período de retorno, se graficará la sección transversal, los niveles alcanzados en la misma y calados críticos.

b) El perfil longitudinal del flujo para cada período de retorno, representado junto con el del propio cauce, el de la línea de energía, las estructuras existentes, y la línea de calados críticos cuando haya cambio a régimen supercrítico, para facilitar su identificación.

Se presentarán los siguientes mapas de resultados:

i) Mapa informativo de la posición de las secciones transversales no interpoladas.

ii) Mapas de Riesgo de Inundación para cada período de retorno en situación actual y, si fuera el caso, futura.

iii) Mapa de Síntesis del Riesgo de Inundación en situación actual y, si fuera el caso, futura.

Finalmente se debe realizar una descripción del funcionamiento hidráulico global en la zona de estudio, identificando los tramos correspondientes a funcionamiento subcrítico y supercrítico, ubicando los posibles resaltes hidráulicos e identificando los controles hidráulicos en el mismo. Deben realizarse en este apartado las observaciones que se consideren oportunas en cuanto a la incertidumbre de los cálculos realizados, el funcionamiento hidráulico global y la posible variación de dicho funcionamiento respecto al período de retorno, riesgos en las infraestructuras, bienes y personas.

#### **Anexo. Software de cálculo recomendado**

A fecha de hoy, es posible recomendar el software que se lista a continuación, fundamentalmente para los cálculos hidrológicos e hidráulicos.

De los programas propietarios solamente se indica el organismo o empresa que lo desarrolla. De los programas de libre distribución, se adjunta además la dirección actual de descarga en Internet.

#### **A.1. Software para el análisis hidromorfológico**

Para el análisis hidromorfológico básico basado en un Modelo de Elevación Digital en formato ráster, pueden emplearse los siguientes Sistemas de Información Geográfica (SIG):

i) el SIG de libre distribución GRASS, desarrollado por diversos organismos y accesible en la actualidad en <http://grass.baylor.edu/>

ii) Los SIG propietarios ArcGIS (en su versión 7 o posterior) de ESRI, Idrisi (en su versión Idrisi32 o posterior) de Clark Labs y PCRaster de PCRaster Environmental Software.

Para el análisis hidromorfológico avanzado, se recomiendan los siguientes paquetes de libre distribución, pero que necesitan los SIG propietarios de ESRI:

a) HEC-GeoHMS para el SIG ArcView versiones 3, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del USACE y accesible en [www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)

b) ArcHydro para el SIG ArcGIS 8 y 9, desarrollado por Water Resources Consortium y accesible en [www.cwrw.utexas.edu/giswr/](http://www.cwrw.utexas.edu/giswr/)

#### **A.2. Software para el análisis estadístico de caudales de crecida**

Como software de apoyo, tanto para el análisis estadístico con información sistemática como no sistemática, puede utilizarse el programa de libre distribución AFINS, desarrollado por el DIHMA y accesible en <http://lluvia.dihma.upv.es>

#### **A.3. Software para la modelación hidrológica**

Existe diverso software de apoyo propietario y de libre distribución para la aplicación de las metodologías hidrológicas descritas. Se recomienda el siguiente:

Para la estimación de la precipitación media areal y el cálculo de cuantiles con la función SQRT-ETmax a partir de su media y coeficiente de variación se puede emplear la hoja de cálculo de libre distribución ANALESTv2.xls del DIHMA, accesible en <http://lluvia.dihma.upv.es>

Para la aplicación del MTM se puede emplear la hoja de cálculo de libre distribución TÉMEZv2.xls del DIHMA, accesible en <http://lluvia.dihma.upv.es>

Para el MHU, se pueden emplear los siguientes programas de libre distribución:

i) HEC-HMS, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center y accesible en [www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)

ii) Water Modelling System, del Coastal and Hydraulics Laboratory y accesible en <http://chl.erdc.usace.army.mil>

y los siguientes programas propietario:

a) PondPack, de Haestad Methods.

b) ISIS, de HR Wallingford.

#### **A.4. Software para la modelación hidráulica**

Los programas de libre distribución para modelación de flujo en lámina libre que se recomiendan son los siguientes:

i) HEC-RAS, modelo unidimensional estacionario o transitorio, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del USACE y accesible en [www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)

ii) FLDWAV, modelo unidimensional transitorio, específico para la rotura de presas, desarrollado por el US National Weather Service y accesible en [www.fema.gov/fhm/dl\\_fdwv.shtml](http://www.fema.gov/fhm/dl_fdwv.shtml)

Para el intercambio de información entre HEC-RAS y el SIG ArcView, existe un paquete de libre distribución denominado GEO-RAS, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del USACE y accesible en [www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)

En cuanto a programas propietario, todos ellos con capacidad de modelación no estacionaria y se recomiendan los siguientes:

a) ISIS, de flujo unidimensional, desarrollado por HR Wallingford.

b) TELEMAC, para flujo bidimensional, desarrollado por HR Wallingford y Electricité de France.

c) La familia MIKE para flujo uni y bidimensional, desarrollados por el Danish Hydraulic Institute.

d) La familia de programas SOBEK, para flujo uni y bidimensional, desarrollados por Delft Hydraulics.

e) ALGOR, modelo desarrollado por el Center for Mechanical Design Technology, USA, capaz de modelar flujo bidimensional a nivel de detalle.

f) El entorno de modelos SMS, desarrollado por el Environmental Modeling Research Laboratory.

g) El programa Flo2D para flujo bidimensional, desarrollado por Flo2D Software.

h) FLOW3D, modelo tridimensional, que ofrece buenos resultados en modelación uni y bidimensional, desarrollado por Flow Science.

i) El programa de celdas conceptuales Gisplana, desarrollado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

La mayor parte de los programas propietarios anteriores tienen su interfase de intercambio con algún SIG.

—

## Consejería de Industria y Medio Ambiente

### **9387 Informe de la Dirección General de Calidad Ambiental sobre el procedimiento de evaluación de impacto ambiental para la Modificación Puntual de las Normas Subsidiarias, uso residencial, Paraje Riñales, del término municipal de Calasparra, a solicitud de su Ayuntamiento.**

Visto el expediente n.º 639/05 de Evaluación de Impacto Ambiental, seguido a instancia del Ayuntamiento de Calasparra, con domicilio en Plaza Corredera, 27, 30420-Calasparra (Murcia), con C.I.F: P-3001300-G, para la Modificación Puntual de las Normas Subsidiarias, uso residencial, paraje Riñales, del término municipal de Calasparra, con objeto de valorar la necesidad de realizar el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, resulta:

1. Considerando que este asunto se encuentra incluido en el Decreto Legislativo 1/2005, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Suelo de la Región de Murcia, y que se ha certificado por el Secretario de ese Ayuntamiento la fecha de 24/05/04, sobre primer acto preparatorio formal de dicha Modificación Puntual, se somete a acuerdo de la Comisión Técnica de Evaluación de Impacto Ambiental.

Esta Comisión, reunida en convocatoria ordinaria el día 12 de marzo de 2007, acuerda lo siguiente: "Dada la escasa entidad de la Modificación Puntual se acuerda que no es necesario realizar el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, siempre y cuando se incorporen en la aprobación definitiva de la Modificación Puntual las medi-

das que se recojan en el informe de la Dirección General del Medio Natural, y en especial, las expuestas en esta reunión de la Comisión Técnica relativas a la no afección a la zona de roquedos existente. Asimismo, deberá tenerse en cuenta en la aprobación definitiva que el Plan Parcial está afectado por la Ley 9/2006, de 28 de abril, de Evaluación de los efectos de determinados planes y programas sobre el medio ambiente.

El informe de la Dirección General de Medio Natural de fecha 1 de marzo de 2007, pone de manifiesto lo siguiente: "Se debería de respetar el roquedo y una zona de amortiguación, que se define en plano adjunto a este informe; además, se debería unir las terrazas que se ubican en la ladera del cabezo de dos en dos, y así aglomerar una superficie para construir, respetando, en la medida de lo posible, la geomorfología y topografía del terreno. En la parte más baja de cada unión de bancales se deben realizar "muros de mampostería careada", que sujeten el terreno dándole mayor estabilidad a la vez que se adecua paisajísticamente con el entorno, contribuyéndose, de este modo a reducir la erosión y el consiguiente riesgo para la seguridad de las personas que puedan vivir en la futura urbanización."

2. Esta Unidad Administrativa ha seguido todos los trámites legales y reglamentarios establecidos en el Decreto 21/2005, de 28 de enero, por el que se modifica el Decreto 21/2001, de 9 de marzo, así como en el Decreto Legislativo 1/2005, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Suelo de la Región de Murcia.

3. La Dirección General de Calidad Ambiental es el órgano administrativo competente en relación al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, de conformidad con lo establecido en el Decreto n.º 138/2005, de 9 de diciembre, por el que se establecen los Órganos Directivos de la Consejería de Industria y Medio Ambiente (B.O.R.M. n.º 289, de 17 de diciembre de 2005), que modifica el Decreto n.º 21/2001, de 9 de marzo, por el que se establecía la Estructura Orgánica de la extinta Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente (B.O.R.M. n.º 75, de 31 de marzo de 2001), y visto el acuerdo de la Comisión Técnica de Evaluación de Impacto Ambiental informa que dada la escasa entidad de la Modificación Puntual de las Normas Subsidiarias, Uso Residencial, paraje Riñales, del término municipal de Calasparra, no es necesario que realice el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, siempre y cuando se incorporen en la aprobación definitiva de la Modificación Puntual referida, las medidas que se recogen en el informe de la Dirección General del Medio Natural de fecha 1 de marzo de 2007 y que se resumen en el apartado 2 del presente informe. Los instrumentos de desarrollo (Plan Parcial, Proyecto de Urbanización) de esta Modificación Puntual deberá acreditar el cumplimiento de estas medidas. Asimismo, y tal y como se recoge en el Acuerdo de la Comisión Técnica de 12 de marzo de 2007, el Plan Parcial está afectado por la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre Evaluación de los efectos de determinados Planes y Programas en el Medio Ambiente, en concreto está incluido