

ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN
EL AMBITO GEOGRAFICO DE
LA ENTIDAD METROPOLITANA DE SERVICIOS
HIDRAULICOS Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS
DURANTE LAS LLUVIAS DEL
DIA 12 DE NOVIEMBRE DE 1988

Rafael Mujeriego
Dr. Ingeniero de Caminos

Josep María Jové
Ingeniero de Caminos

Sergi Sugranyes
Ingeniero de Caminos

Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Cataluña

Este estudio ha sido patrocinado por la Entidad Metropolitana
de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos
a través de un Convenio de Investigación con la
Universidad Politécnica de Cataluña

Barcelona, mayo de 1989

ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN
EL AMBITO GEOGRAFICO DE
LA ENTIDAD METROPOLITANA DE SERVICIOS
HIDRAULICOS Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS
DURANTE LAS LLUVIAS DEL
DIA 12 DE NOVIEMBRE DE 1988

Rafael Mujeriego
Dr. Ingeniero de Caminos

Josep María Jové
Ingeniero de Caminos

Sergi Sugranyes
Ingeniero de Caminos

Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental
ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Cataluña

Este estudio ha sido patrocinado por la Entidad Metropolitana
de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos
a través de un Convenio de Investigación con la
Universidad Politécnica de Cataluña

Barcelona, mayo de 1989

RESUMEN

El régimen de lluvias característico de las zonas costeras de Cataluña da lugar periódicamente a episodios de lluvia de considerable intensidad durante el otoño, que provocan el desbordamiento de sus rieras y la inundación de las zonas colindantes.

Las precipitaciones registradas en el Area Metropolitana de Barcelona durante el día 12 de noviembre de 1988 provocaron el desbordamiento de numerosas rieras y redes de drenaje urbano, propiciando la inundación de un gran número de zonas urbanas y agrícolas del Area Metropolitana de Barcelona, y ocasionando numerosas pérdidas humanas y cuantiosos daños materiales.

Este nuevo episodio de intensas precipitaciones vino a sumarse a los otros dos muy similares registrados en noviembre de 1983 y octubre de 1987, y al registrado en noviembre de 1982, constituyendo así el cuarto episodio de inundaciones registrado en el Area Metropolitana de Barcelona durante los 6 años transcurridos desde la última avenida del río Llobregat en noviembre de 1982.

El mantenimiento inadecuado de la red pluviométrica existente en el Area Metropolitana de Barcelona hizo que sólo pudiera obtenerse información de este episodio de intensas lluvias en 4 de los 48 pluviómetros instalados. En general, el mal estado de conservación de las baterías instaladas como fuente alternativa de energía impidió que los pluviómetros funcionaran durante el prolongado corte de corriente eléctrica que se registró durante el día 12 de noviembre de 1988. Este resultado no es mucho más favorable que el obtenido en octubre de 1987, cuando sólo pudo obtenerse información de 2 pluviómetros.

Las causas inmediatas de las inundaciones registradas en noviembre de 1988 han sido prácticamente las mismas que las observadas en noviembre de 1983 y octubre de 1987, y están asociadas fundamentalmente al estado de abandono y deterioro en que se encuentran los sistemas de desagüe del Area Metropolitana de Barcelona. Esta situación había quedado ya claramente en evidencia cuando en noviembre de 1982 la avenida del río Llobregat inundó diversas zonas del Area Metropolitana.

La insuficiente capacidad hidráulica de las rieras, la acumulación de residuos y basuras de todo tipo en sus cauces, las dificultades físicas para que los caudales recogidos por las rieras puedan desaguar en el mar, la utilización del cauce de las rieras como vía urbana, camino rural o incluso zona edificable, la insuficiente capacidad o fiabilidad del sistema de alcantarillado, y la frecuente obstrucción de las rejillas de desagüe de las redes de alcantarillado han contribuido a que las zonas urbanas y agrícolas

del Area Metropolitana de Barcelona sufran, por cuarta vez en 6 años, las consecuencias catastróficas de las inundaciones.

Las remodelaciones efectuadas en las redes de alcantarillado de diversas zonas del Area Metropolitana de Barcelona, junto con las tareas de limpieza de cauces de rieras realizadas durante el verano de 1988, han contribuido eficazmente a que las inundaciones registradas en noviembre de 1988 no alcanzaran la gravedad de las observadas en octubre de 1987, y menos aún la de las registradas en noviembre de 1983. La terminación de las obras de remodelación de la red de alcantarillado del núcleo urbano de El Prat de Llobregat constituye una de las mejores ilustraciones del enorme éxito alcanzado en la prevención de las inundaciones que tradicionalmente venían registrándose en esta zona.

Las medidas correctoras propuestas para evitar las consecuencias catastróficas que un nuevo episodio de intensas lluvias puede ocasionar se han agrupado en dos grandes categorías: de una parte, las obras de restitución y mejora de los cauces de las rieras, de las estructuras de cruce con vías de comunicación, y de los dispositivos de desagüe, y de otra parte, un programa de limpieza y mantenimiento del cauce de las rieras que las mantenga libres de escombros, basura y vegetación.

Existe una evidente desproporción entre el presupuesto de algunos de los proyectos de canalización elaborados por la EMSHTR y la escasa elaboración de los datos experimentales utilizados para determinar la lluvia de diseño adoptada en cada caso. Aunque los datos hidrológicos disponibles son escasos y de fiabilidad limitada, los métodos de cálculo utilizados y, en especial, su aplicación práctica pueden ser notablemente mejorados. Por otra parte, la información hidrológica disponible permite afirmar que las lluvias registradas en noviembre de 1988, octubre de 1987, noviembre de 1983 y noviembre de 1982 tuvieron un carácter excepcional y por tanto cabe lógicamente admitir que pudieran llegar a producir inundaciones.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este estudio ha sido posible gracias a la información y colaboración prestadas por los responsables y técnicos de todos los municipios de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos, así como por los Servicios Meteorológicos de los Centros Meteorológicos Zonales de Barcelona y Palma de Mallorca, de los observatorios de Lérida, Tortosa, Veciana y Mas Badía, así como por TV2 y la Facultad de Físicas de la Universidad de Barcelona.

Queremos agradecer a los numerosos vecinos y agricultores afectados por las inundaciones, así como a los testigos presenciales de las mismas, la valiosa información que nos han facilitado sobre las circunstancias en que se desarrollaron las inundaciones ocurridas durante el día 12 de noviembre de 1988.

Hemos de expresar nuestra gratitud a los Servicios Técnicos de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos por la confianza y ayuda que nos han brindado. En particular, queremos agradecer a D. Angel Simón y a D. Antonio Palacios el interés y apoyo que nos han ofrecido durante la ejecución de este estudio.

Así mismo hemos de manifestar nuestro agradecimiento a los Servicios Técnicos de la Empresa Metropolitana de Saneamiento por la colaboración que nos han prestado. En especial, queremos agradecer a D. Mario Ferrer el interés y ayuda que nos ha brindado durante la realización de este estudio.

La colaboración entusiasta de la Profesora Carmen Llasat en la recopilación y análisis de las condiciones meteorológicas que provocaron las lluvias objeto de este estudio ha permitido disponer de toda la información conocida sobre las precipitaciones registradas durante este episodio.

Por último hemos de expresar nuestra gratitud a las personas que amablemente nos han facilitado información sobre los efectos de las inundaciones, así como a los técnicos de la Gerencia de Promoción Agrícola de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos. Su aportación ha de contribuir sin duda a una mejor definición de las soluciones correctoras propuestas.

INDICE

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
METODOLOGIA	4
Recopilación de Datos de Campo	11
EL EPISODIO DE LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1988	12
Introducción	12
El Episodio de Lluvias	12
Evolución y Distribución de las Lluvias	13
Pluviogramas Diarios	17
Condiciones Meteorológicas	22
Análisis Sinóptico	22
Análisis de las Lluvias Registradas desde 1960	25
Características Comunes de los Episodios de Lluvia	26
PROPUESTA DE RED DE VIGILANCIA	33
Introducción	33
Objetivo	33
Red Pluviométrica Actual	34
Equipos Disponibles Comercialmente	37
Pluviómetros Convencionales	37

Pluviómetros Automáticos	38
Propuesta de Ubicación de la Red de Vigilancia . . .	39
Programa de Mantenimiento de la Red	41
EL SISTEMA HIDRAULICO	42
ZONAS INUNDADAS	43
ORIGEN DE LAS INUNDACIONES	47
CAUSA DE LAS INUNDACIONES	48
1. Insuficiente capacidad hidráulica de las rieras.	48
2. Acumulación de residuos y basuras	50
3. Dificultades para desaguar en el mar	51
4. Utilización inapropiada del cauce de las rieras	52
5. Insuficiente capacidad hidráulica del alcantarillado	53
6. Obstrucción de las rejillas de desagüe	54
7. Subida generalizada del nivel freático	55
ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN 1983, 1987 y 1988	56
Introducción	56
Programa de Limpieza de Rieras	56
Puntos Conflictivos que No Han Mejorado	59
Problemas Surgidos en Obras en Ejecución	60
Análisis Detallado de Inundaciones	63
1. Torrent Tapioles	63
2. El Prat de Llobregat	65
3. Rieras Infanta II y del Terme	66
4. Riera de Torrelles	68
5. Sant Vicenç dels Horts	69
6. Sant Boi de Llobregat	70
7. Canal de la margen derecha del Llobregat .	71

Análisis de Obras de Canalización	72
ANALISIS DE PROYECTOS DE CANALIZACION DE RIERAS	80
Introducción	80
Estimación del Período de Retorno	80
Fórmula de cálculo	81
Precipitaciones registradas	81
Períodos de retorno	83
Análisis de los Proyectos de Canalización	83
Consideraciones Prácticas	104
Fiabilidad de los registros de lluvia	104
Estimación de la lluvia recogida en un punto	105
Factor de localización geográfica	105
Cantidad de lluvia y período de retorno	105
Duración de las precipitaciones	106
Valoración de los Resultados	107
PROGRAMA DE MEDIDAS CORRECTORAS	110
1. El restablecimiento de la capacidad hidráulica de las rieras	110
2. La provisión de cauces adecuados en los tramos urbanos de las rieras	110
3. La implantación y observancia de una normativa de vertidos	111
4. La implantación de un programa de limpieza y mantenimiento	112
5. La provisión de equipos de impulsión y achique	112
6. La remodelación y ampliación del alcantarillado	112
7. El control del nivel freático	113
VALORACION ECONOMICA DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS	114
Introducción	114
Valoración Económica	114

CONCLUSIONES	118	
RECOMENDACIONES	121	
REFERENCIAS	123	
ANEXO 1	Planos pluviométricos de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental correspondientes a los episodios de intensas lluvias de noviembre de 1982, noviembre de 1983, octubre de 1987, noviembre de 1988, y a las lluvias medias anuales de 1944 a 1980	125
ANEXO 2	Planos de las zonas del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante las lluvias de los años 1983, 1987 y 1988	126
ANEXO 3	Municipios del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante las lluvias del día 12 de noviembre de 1988	127
ANEXO 4	Formularios de registro de datos correspondientes a los municipios del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante el día 12 de noviembre de 1988 .	132

LISTA DE FIGURAS

Título	página
Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona el día 12 de noviembre de 1988. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).	5-9
Figura 2. Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde las 8.00 horas del día 12 a las 8.00 horas del día 13 de noviembre de 1988. Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal de Barcelona.	15
Figura 3. Distribución horaria e intensidad de las lluvias registradas durante el episodio del día 12 de noviembre de 1988 en diversas estaciones meteorológicas de Cataluña y Aragón	16
Figura 4. Análisis comparativo de los pluviogramas obtenidos en el observatorio del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona, en la calle Roura de Barcelona, durante el día 12 de noviembre de 1988, con los pluviogramas de diseño adoptados para la remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986). . . .	18
Figura 5. Análisis comparativo de los pluviogramas obtenidos en los observatorios de Santa Coloma de Gramanet, Sant Adrià del Besós y Hospitalet de Llobregat, durante el día 12 de noviembre de 1988, con los pluviogramas de diseño adoptados para la remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986). . . .	19
Figura 6. Análisis comparativo de los pluviogramas obtenidos en los observatorios de Lérida, Palma de Mallorca, Roquetas y Veciana, durante el día 12 de noviembre de 1988, con los pluviogramas de diseño adoptados para la remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986). .	20
Figura 7. Mapas meteorológicos de superficie y de 700 hPa de las 00 UTC del día 12 de noviembre de 1988. Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal de Palma de Mallorca.	24

Figura 8.	Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde las 7.00 horas del día 2 a las 7.00 horas del día 5 de octubre de 1987 (Mujeriego y cols., 1988). . . .	27
Figura 9.	Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde las 8.00 horas del día 6 a las 8.00 horas del día 8 de noviembre de 1983 (Mujeriego y cols., 1985). . .	28
Figura 10.	Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los días 7 y 8 de noviembre de 1982 (Mujeriego y Dolz, 1983).	29
Figura 11.	Precipitaciones medias anuales registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los años 1944 a 1980. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental (Mujeriego y Dolz, 1983). . . .	30
Figura 12.	Zonas del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante el día 12 de noviembre de 1988.	44

LISTA DE TABLAS

Título	página
Tabla 1. Precipitaciones máximas en 24 horas recogidas en diferentes puntos de Cataluña durante los días 8 a 13 de noviembre de 1988	14
Tabla 2. Precipitaciones máximas registradas en 24 horas durante los últimos 25 años en Cataluña	25
Tabla 3. Relación de organismos que gestionan los equipos de medida y registro de precipitaciones disponibles en el ámbito territorial del Area Metropolitana de Barcelona	35
Tabla 4. Número de estaciones pluviométricas disponibles en el Area Metropolitana de Barcelona que proporcionan información a cada organismo.	36
Tabla 5. Propuesta de ubicación de la red de vigilancia del régimen de precipitaciones del Area Metropolitana de Barcelona	40
Tabla 6. Análisis comparativo de las zonas afectadas por las inundaciones registradas en el Area Metropolitana durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, 2 a 4 de octubre de 1987, y 12 de noviembre de 1988	43
Tabla 7. Análisis comparativo del origen de las inundaciones registradas en el Area Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, 2 a 4 de octubre de 1987, y 12 de noviembre de 1988	47
Tabla 8. Análisis comparativo de las causas determinantes de las inundaciones registradas en el Area Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, 2 a 4 de octubre de 1987, y 12 de noviembre de 1988.	49
Tabla 9. Rieras del Area Metropolitana de Barcelona incluidas en el programa de limpieza elaborado para aumentar la capacidad hidráulica de sus cauces (Mujeriego y cols., 1988a)	58
Tabla 10. Resumen de las obras realizadas por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos durante el período 1983 a 1987, y valoración de su eficacia como medidas correctoras de las inundaciones	62

Tabla 11.	Características principales de las lluvias registradas en el Area Metropolitana de Barcelona durante los episodios de lluvia ocurridos entre los años 1982 y 1988.	82
Tabla 12.	Información disponible sobre las precipitaciones registradas en zonas próximas a las de ubicación de las obras de canalización proyectadas por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos	82
Tabla 13.	Períodos de retorno estimados para las lluvias registradas en diversas cuencas vertientes del Area Metropolitana de Barcelona durante los episodios de lluvia ocurridos entre 1982 y 1988	84
Tabla 14.	Influencia de la precisión de la lluvia total recogida en la riera de Torrelles el día 12 de noviembre de 1988 sobre el período de retorno estimado para esa precipitación	106
Tabla 15.	Análisis comparativo de los períodos de retorno considerados en los proyectos o estudios de canalización de diversas rieras del Area Metropolitana de Barcelona y los períodos de retorno estimados a partir de información hidrológica disponible para esta zona (Pou, 1984)	109
Tabla 16.	Análisis presupuestario del programa de medidas correctoras propuesto para evitar las inundaciones ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona durante el día 12 de noviembre de 1988.	116

INTRODUCCION

El régimen de lluvias característico de las zonas costeras de Cataluña da lugar periódicamente a episodios de lluvia de considerable intensidad durante el otoño, que provocan el desbordamiento de sus rieras y la inundación de las zonas colindantes.

Las precipitaciones registradas en el ámbito de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos (EMSHTR) el día 12 de noviembre de 1988 ocasionaron el desbordamiento de numerosas rieras y redes de drenaje urbano, propiciando la inundación de un gran número de zonas urbanas y agrícolas del Area Metropolitana de Barcelona.

Este nuevo episodio de intensa precipitación vino a sumarse a los otros dos muy similares registrados en noviembre de 1983 y octubre de 1987, y al registrado en noviembre de 1982, dando lugar así al cuarto episodio de inundaciones registrado durante el período de 6 años transcurridos desde la última avenida del río Llobregat en noviembre de 1982.

Sin embargo, mientras que las inundaciones ocurridas en noviembre de 1982 fueron causadas por las intensas lluvias caídas en la cabecera del Río Llobregat, provocando su desbordamiento en diversos tramos próximos a su desembocadura, tanto las inundaciones registradas en noviembre de 1988 como las acaecidas en noviembre de 1983 y en octubre de 1987 fueron producidas por las intensas lluvias caídas en la propia Area Metropolitana de Barcelona que, al no poder desaguar por el inadecuado sistema de drenaje existente, desbordaron sus cauces normales e invadieron las zonas urbanas y agrícolas colindantes.

La sucesión en un plazo de seis años de estos cuatro episodios catastróficos y, especialmente, la morfología y consecuencias tan similares de los tres últimos episodios de inundaciones ponen de manifiesto, una vez más, la necesidad de llevar a cabo un programa eficaz de gestión de las aguas de escorrentía que asegure su evacuación adecuada de las zonas urbanas y agrícolas, evitando así el riesgo de graves inundaciones que pesa sobre numerosas zonas del Area Metropolitana de Barcelona.

Ha sido en este contexto en el que la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos estableció un Convenio de Investigación con la Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, del Departamento de Ingeniería Marítima, Hidráulica y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña, con objeto de evaluar las causas inmediatas de las inundaciones ocurridas el día 12 de noviembre de 1988, comparar sus efectos con los de las lluvias registradas tanto en octubre de 1987 como en noviembre de 1983, y elaborar un programa de medidas correctoras.

OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es evaluar las causas inmediatas de las inundaciones producidas en el Area Metropolitana de Barcelona por las intensas lluvias registradas el día 12 de noviembre de 1988.

Entre los objetivos específicos de este estudio cabe señalar:

1. Estudiar las condiciones meteorológicas que produjeron las intensas lluvias registradas el día 12 de noviembre de 1988 en Cataluña.
2. Establecer los criterios básicos necesarios para definir e implantar una red automática de sensores que garantice la medida y registro de las características principales de las precipitaciones de próximos episodios de lluvia.
3. Identificar las zonas del Area Metropolitana de Barcelona en que se produjeron las inundaciones.
4. Recopilar la información disponible sobre la localización de las zonas inundadas, el origen de las aguas responsables de las inundaciones, y las causas que las motivaron, y elaborar un reportaje fotográfico adecuado de las zonas afectadas.
5. Incorporar toda la información así obtenida dentro del sistema de registro de datos elaborado con ocasión de las inundaciones ocurridas en noviembre de 1983 y en octubre de 1987, a fin de facilitar el archivo y consulta de toda la información recopilada durante estos tres estudios.
6. Analizar las causas y circunstancias en que se produjeron las inundaciones, a partir de las observaciones de campo efectuadas y de las conversaciones mantenidas con los vecinos de la zona.
7. Comparar los efectos producidos por las inundaciones de noviembre de 1983, las de octubre de 1987 y las de noviembre de 1988, evaluando los beneficios obtenidos con las reformas llevadas a cabo desde el episodio de lluvias de noviembre de 1983, así como las mejoras conseguidas con el programa de limpieza de rieras realizado durante el verano de 1988.
8. Evaluar el grado de protección frente a las inundaciones que diversos proyectos de canalización elaborados por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos ofrecen ante la eventual repetición de unas lluvias como las

registradas en esas 4 ocasiones durante los últimos 6 años.

9. Elaborar un programa de medidas correctoras que, teniendo en cuenta el programa recomendado con ocasión de las inundaciones de los episodios anteriores, y las operaciones de limpieza de rieras realizadas durante los meses de verano de 1988, permita evitar la repetición futura de situaciones similares a las registradas en 1983, 1987 y 1988.
10. Realizar una valoración económica preliminar de las medidas correctoras propuestas, especialmente de los costes de ejecución de las obras hidráulicas destinadas a desaguar los caudales de escorrentía, y de los costes anuales de mantenimiento de los dispositivos de desagüe de esas mismas aguas.

METODOLOGIA

La evaluación de las inundaciones registradas en el Area Metropolitana de Barcelona el día 12 de noviembre de 1988 se ha llevado a cabo mediante visitas de campo efectuadas a todos los municipios del Area Metropolitana, así como a través de entrevistas mantenidas con responsables y técnicos municipales, y con vecinos afectados tanto en zonas urbanas como agrícolas.

Con objeto de facilitar el archivo y consulta de toda la información recopilada tanto durante este estudio como durante los realizados con ocasión de las lluvias de noviembre de 1983 y de octubre de 1987 (Mujeriego y cols., 1985, 1988b) los formularios utilizados han sido los mismos que se elaboraron durante el estudio de 1983 y que aparecen en la Figura 1.

Como puede apreciarse en estos formularios, la identificación de la zona inundada viene reflejada por el municipio a que ésta pertenece y la denominación de la zona afectada. Cada una de las inundaciones registradas viene designada con un código de cuatro cifras: las dos primeras corresponden al municipio en el que se produjeron las inundaciones, y las dos últimas corresponden al número de orden de la inundación estudiada dentro del municipio considerado.

En aquellos municipios que, aún no perteneciendo a la EMSHTR, están ubicados en alguna de sus cuencas vertientes, el código utilizado consta de cuatro cifras, la primera de las cuales es superior a 1 para indicar tal condición. Al igual que en los otros casos estudiados, las dos primeras cifras corresponden al municipio en cuestión y las dos últimas indican el número de orden de la inundación dentro del municipio considerado.

El criterio utilizado para establecer el código municipal ha sido el orden alfabético de los municipios visitados. La ordenación de las diferentes inundaciones ocurridas en un mismo municipio se ha realizado según el orden cronológico en el que fueron estudiadas. Se han respetado los códigos municipales adoptados durante el estudio de 1983 y mantenidos en el estudio de 1987, así como el de las inundaciones que entonces se produjeron, añadiéndose los números de orden necesarios para designar las inundaciones adicionales registradas en noviembre de 1988.

La localización de la zona inundada viene ilustrada en la correspondiente porción de plano a escala 1 : 10 000, elaborado por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos, en el que se ha señalado la zona afectada por las inundaciones.

El origen de las inundaciones viene reflejado en términos del río, canal de riego, riera u otro tipo de cauce de donde provinieron las aguas. La superficie total de la cuenca de la riera, así como la superficie urbana y urbanizable de la misma, han sido

<p>ENTIDAD METROPOLITANA DE SERVICIOS HIDRAULICOS Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS</p> <p>Convenio de Investigación con la Universidad Politécnica de Cataluña</p> <p>Estudio de las inundaciones ocurridas en la EMSHTR durante las lluvias del día 12 de noviembre de 1988</p>	
<p>1. IDENTIFICACION</p> <p>Nombre del Municipio:</p> <p>Denominación de la zona inundada:</p>	<p>CODIGO:</p>
<p>2. LOCALIZACION DE LA ZONA INUNDADA</p>	
<p>3. ORIGEN DE LAS INUNDACIONES</p> <p>Río:</p> <p>Canal de riego:</p> <p>Riera:</p> <p>Superficie total de la cuenca:</p> <p>Superficie urbana de la cuenca:</p> <p>Superficie urbanizable de la cuenca:</p>	

Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona el día 12 de noviembre de 1988. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).

4. CAUSA DE LAS INUNDACIONES	CODIGO:
4.1 Observaciones de campo:	
4.2 Comentarios de los vecinos de la zona:	

Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona el día 12 de noviembre de 1988. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).

5. POSIBLES SOLUCIONES	CODIGO:
5.1 Descripción y valoración técnica:	
5.2 Valoración económica:	

Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona el día 12 de noviembre de 1988. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).

6. DOCUMENTACION GRAFICA	CODIGO:

Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona el día 12 de noviembre de 1988. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).

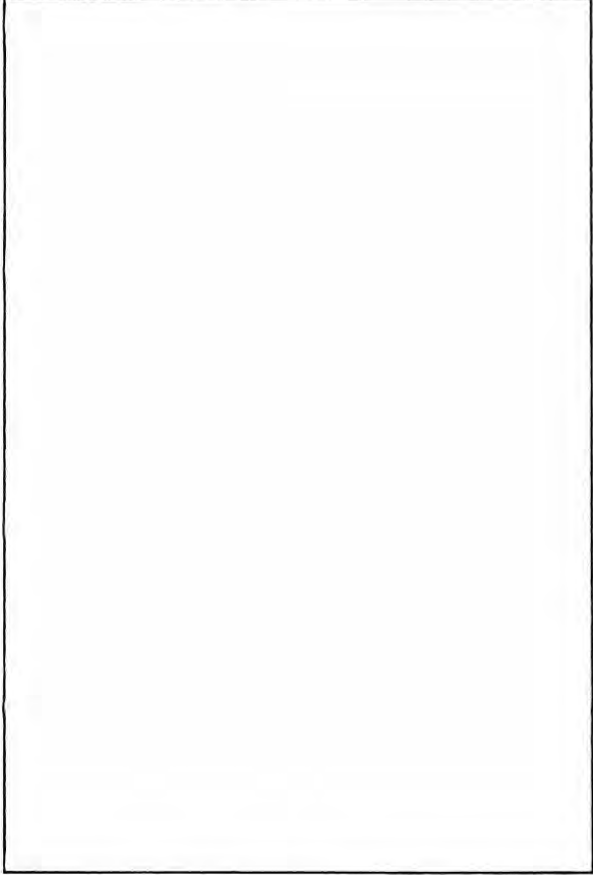
6. DOCUMENTACION GRAFICA	CODIGO:
	

Figura 1. Formularios utilizados para recopilar la información obtenida durante el estudio de las inundaciones ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona el día 12 de noviembre de 1988. Formularios tomados del estudio similar realizado por Mujeriego y cols. (1985).

obtenidas de los planos del Area Metropolitana de Barcelona y proporcionan una indicación de la importancia relativa de los caudales de agua de escorrentía que pudieron generarse en cada uno de los casos estudiados.

El apartado 4 del formulario incluye una descripción razonada de la causas inmediatas de las inundaciones, basada en las observaciones realizadas durante las visitas de campo, así como en los comentarios que se pudieron recoger entre los vecinos o agricultores de la zona.

El apartado 5 del formulario contiene una descripción y valoración técnica de las soluciones propuestas para evitar la repetición de las inundaciones en cada caso concreto. Este apartado incluye también una valoración económica preliminar de las soluciones propuestas. Los costes que aparecen en muchos de estos casos, especialmente los relativos a obras de construcción, han sido tomados de las estimaciones realizadas por los Servicios Técnicos de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos.

Por último, los formularios de registro de datos contienen una selección de fotografías que ilustran los aspectos más significativos tanto de las causas de las inundaciones como del estado de la zona después de que éstas ocurrieran.

El método de trabajo adoptado ha sido el siguiente:

1. Identificación de la zona inundada, a partir de la información obtenida de los medios de comunicación y de los datos facilitados por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos.
2. Localización sobre el plano de las zonas inundadas, y elaboración de los recorridos de las visitas.
3. Comparación detallada de las zonas inundadas en noviembre de 1988 con respecto a las registradas en octubre de 1987 y en noviembre de 1983.
4. Visita a las zonas inundadas, para realizar el reportaje fotográfico y las entrevistas con vecinos afectados.
5. Entrevista con técnicos municipales encargados de la conservación y mantenimiento de las infraestructuras viarias y de drenaje.
6. Visita a las zonas afectadas en compañía de las personas entrevistadas.
7. Redacción del formulario correspondiente.

RECOPIACION DE DATOS DE CAMPO

Toda la información obtenida durante este estudio aparece recopilada en los Anexos de este estudio.

El contenido de cada uno de estos Anexos es el siguiente:

- Anexo 1 Planos pluviométricos de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental correspondientes a los episodios de intensas lluvias de noviembre de 1982, noviembre de 1983, octubre de 1987, noviembre de 1988, y a las lluvias medias anuales de 1944 a 1980.
- Anexo 2 Planos de las zonas del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante las lluvias de los años 1983, 1987 y 1988.
- Anexo 3 Municipios del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante las lluvias del día 12 de noviembre de 1988.
- Anexo 4 Formularios de registro de datos correspondientes a los municipios del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante el día 12 de noviembre de 1988.

EL EPISODIO DE LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1988

INTRODUCCION

El estudio de las inundaciones ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona el día 12 de noviembre de 1988 se ha efectuado a dos niveles: 1) de una parte, se han analizado las circunstancias que dieron lugar a unos caudales de escorrentía excepcionales en numerosas rieras de las cordilleras litoral y prelitoral de Cataluña, y 2) de otra parte, se han estudiado las circunstancias que propiciaron que esas mismas aguas de escorrentía desbordaran los cauces de las rieras, inundaran las zonas urbanas y agrícolas colindantes, y produjeran numerosos destrozos en ellas.

La información facilitada por los Centros Meteorológicos Zonales de Barcelona y Palma de Mallorca, los observatorios de Lérida, Tortosa, Veciana y Mas Badía, así como por TV2 y la Facultad de Físicas de Barcelona, ha permitido evaluar las circunstancias en que se produjeron las intensas lluvias registradas el día 12 noviembre en Cataluña. A ello se han añadido los datos de la red pluviométrica urbana de Barcelona, facilitados por el Dr. Redaño, y los de la red agrometeorológica del Servicio de Agricultura de la Generalitat de Catalunya.

Los contactos mantenidos con los Servicios Técnicos municipales así como con los de la propia EMSHTR han permitido establecer una primera valoración del número e importancia de las inundaciones ocurridas el día 12 de noviembre de 1988. Las visitas de campo realizadas posteriormente a las zonas afectadas, así como las conversaciones mantenidas con los responsables y técnicos municipales y, especialmente, los comentarios recogidos entre los vecinos de las zonas colindantes, han permitido documentar cada una de estas inundaciones. La información recopilada se ha recogido en los correspondientes formularios, que aparecen en el Anexo 4 de este estudio.

EL EPISODIO DE LLUVIAS

Las fuertes lluvias registradas en toda Cataluña el 12 de noviembre de 1988 dieron lugar a importantes inundaciones en la zona costera. Aunque las cantidades de agua registradas en este episodio no fueron tan elevadas como las del año anterior, es necesario resaltar que mientras que en octubre de 1987 las lluvias se prolongaron durante casi una semana, en noviembre de 1988 las lluvias se registraron en menos de 36 horas. No debe por tanto sorprender que las consecuencias de ambas fueran de semejante magnitud, con 11 víctimas mortales en toda Cataluña y más de 2.000 millones de pérdidas en el Baix Llobregat.

Aunque las lluvias comenzaron el día 8 de noviembre, las precipitaciones en 24 horas fueron siempre inferiores a 50 mm. Esto no impidió que el día 10 de noviembre por la tarde se registrase una súbita riada en Arenys de Mar que arrastró unos 150 automóviles. Ese mismo día se produjeron inundaciones en Levante, concretamente en las zonas agrícolas próximas al Segura, con un balance de 3 víctimas mortales. No obstante, estas precipitaciones fueron consideradas como beneficiosas para la agricultura ya que sucedían a un período de extrema sequía. La precipitación máxima registrada en 24 horas fue del mismo orden que la que dos días después se registraría en Cataluña, concretamente 213 mm en Chelva, aunque es posible que en el pantano de Arenós, en Castellón, se llegaran a alcanzar 300 mm durante todo el episodio.

Las precipitaciones del día 12 de noviembre hicieron que gran parte de Cataluña quedara paralizada por cortes de teléfono, de electricidad y de abastecimiento de agua, no llegándose a restablecer el funcionamiento normal de estos servicios hasta 4 días después. Así mismo, numerosas carreteras quedaron cortadas, se derrumbaron el puente de la carretera de la Roca y el puente de la carretera BV-2002 en Sant Vicenç dels Horts, el servicio de ferrocarriles quedó interrumpido y el aeropuerto del Prat permaneció cerrado desde las 6 de la tarde. Los ríos Llobregat, Besós y Fluvià se desbordaron, haciendo que localidades tales como Sant Vicenç dels Horts o Gavà quedaran aisladas durante varias horas.

En esta ocasión, a diferencia de lo que había ocurrido en octubre de 1987, el viento no causó graves daños ya que la racha máxima registrada fue de 43 km/h.

EVOLUCION Y DISTRIBUCION DE LAS LLUVIAS

El episodio de lluvias se inició el día 8 de noviembre, con un máximo de 40 mm en Begas. Aunque las precipitaciones se debilitaron el día 9 de noviembre, volvieron a incrementarse el día 10 por la tarde, principalmente en el Maresme, con un valor máximo de 51 mm en Arenys de Munt; en La Selva, con un valor máximo de 35,1 mm en Susqueda, y en el Baix Empordà, con un valor máximo de 30,7 mm en L'Estartit. Las lluvias se extendieron a toda Cataluña el día 11 de noviembre, aunque tanto la intensidad máxima de 20 mm/h alcanzada en Gerona, como la cantidad máxima de 30 mm registrada en Olot, fueron relativamente bajas.

La Figura 2 ilustra las precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental entre las 8 de la mañana del día 12 de noviembre y las 8 de la mañana del día 13. Las máximas precipitaciones se recogieron en la zona litoral y prelitoral, principalmente en el Barcelonés (Sant Adrià del Besós, 190 mm), Baix Llobregat (Gavà, 197 mm), Vallès (Granollers, 179 mm) y la Garrotxa (Olot, 166 mm). En el Sur de Tarragona apenas llovió (Tortosa, 1,2 mm). No obstante, es necesario resaltar que es posible que pudieran registrarse precipitaciones superiores a las indicadas, en zonas desprovistas de aparatos de medida.

Las precipitaciones empezaron a disminuir el día 13 de noviembre, pudiéndose dar por acabadas al final de esa misma tarde. La máxima precipitación registrada fue de 16 mm en Martorell. No obstante, debe tenerse en cuenta que las lluvias registradas antes de las 8 de la mañana constan como pertenecientes al día 12 de noviembre.

La Tabla 1 resume las precipitaciones máximas recogidas en diferentes puntos de Cataluña durante los días 8 a 13 de noviembre de 1988.

Tabla 1. Precipitaciones máximas en 24 horas recogidas en diferentes puntos de Cataluña durante los días 8 a 13 de noviembre de 1988.

Fecha	Observatorio	Precipitación máxima en 24 horas, mm
8 noviembre 1988	Begas	40
10 noviembre 1988	Arenys de Munt	51
10 noviembre 1988	Estartit	30,7
10 noviembre 1988	Susqueda	35,1
11 noviembre 1988	Olot	30
12 noviembre 1988	Sant Adrià del Besós	190
12 noviembre 1988	Gavà	197
12 noviembre 1988	Granollers	179
12 noviembre 1988	Olot	166
12 noviembre 1988	Tortosa	1,2
13 noviembre 1988	Martorell	16

Las lluvias fueron de carácter tormentoso en toda Cataluña, no siendo posible detectar una trayectoria determinante durante el episodio. Así, mientras que en el sur de Tarragona llovió sólo por la mañana, en Gerona y Barcelona llovió durante la práctica totalidad del día 12 de noviembre, registrándose las intensidades más elevadas al final de la tarde y durante la noche. La Figura 3 muestra la distribución horaria del episodio, que por primera vez se ha podido establecer para un número apreciable de estaciones meteorológicas repartidas por toda la región.

Las precipitaciones registradas en 24 horas fueron superiores a las de octubre de 1987, lo que indica que las intensidades medias observadas fueron más elevadas durante el 12 de noviembre de 1988. Así, en Gavà se recogieron 108,7 mm en 3 h, lo que equivale a una intensidad media horaria de 36 mm/h durante ese período. Como punto de referencia puede indicarse que el episodio de

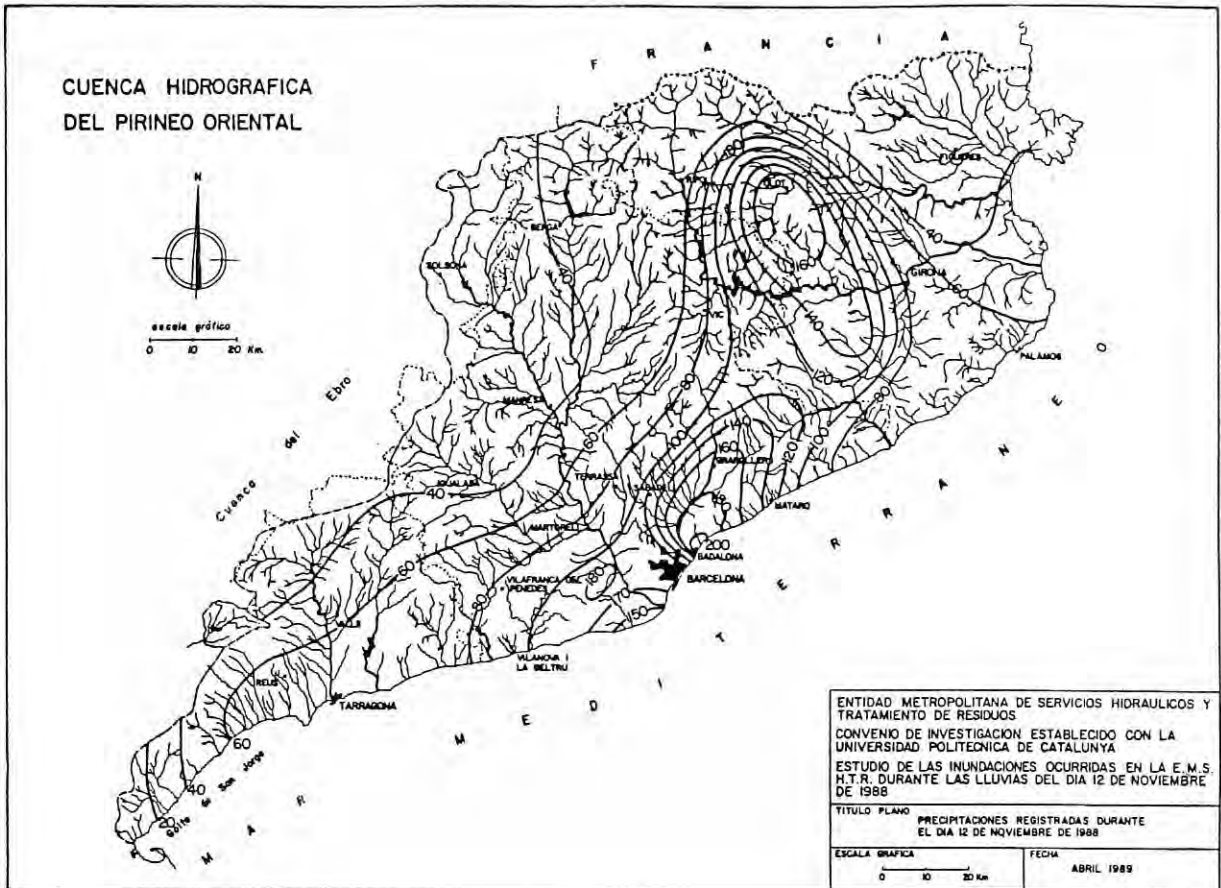


Figura 2. Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde las 8.00 horas del día 12 a las 8.00 horas del día 13 de noviembre de 1988. Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal de Barcelona.

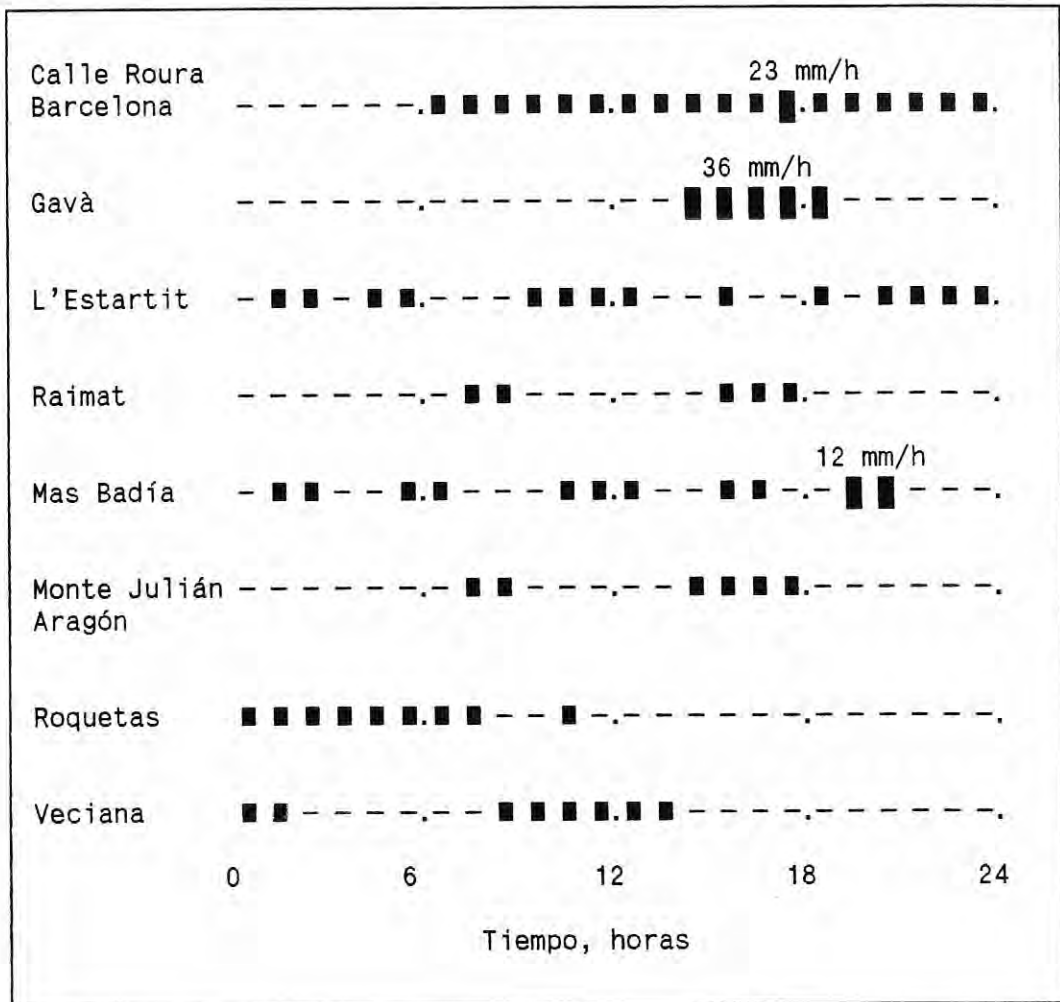


Figura 3. Distribución horaria e intensidad de las lluvias registradas durante el episodio del día 12 de noviembre de 1988 en diversas estaciones meteorológicas de Cataluña y Aragón.

lluvias que provocó las inundaciones de 1962, durante el que se recogieron 250 mm en 6 horas, representó una intensidad media horaria de 42 mm/h.

Los datos de la red pluviométrica de la zona urbana de Barcelona (Redaño, 1987) han permitido estudiar la distribución de cantidad de lluvia y de la intensidad de la misma durante el episodio del 12 de noviembre de 1988. La cantidad de lluvia recogida muestra una clara disminución de N a S y de E a W; así, mientras que en el Besós se registraron 184,4 mm, en la Zona Franca no se llegó a los 30 mm, y mientras que en la Barceloneta se recogieron 103 mm, en el pie del Tibidabo tan sólo se alcanzaron 51 mm. Es importante resaltar que en estos resultados influye no sólo la localización geográfica del pluviómetro sino también su lugar de colocación.

La distribución de la intensidad máxima en períodos de 1 minuto no coincide con la de la cantidad de precipitación, exceptuando los puntos extremos, es decir, el Besós, con 2,8 mm/min y la Zona Franca, con 0,6 mm/min. Así, por ejemplo, aunque detrás de Montjuic sólo se recogieron 55,6 mm, la intensidad máxima fue de 2,2 mm/min, en tanto que en el Poble Nou, donde se recogieron 101,6 mm, la máxima fue de 1,2 mm/min. Estos resultados han permitido estimar que las lluvias registradas en Badalona corresponden a un período de retorno de 25 años.

PLUVIOGRAMAS DIARIOS

Con objeto de poder comparar las precipitaciones registradas durante el episodio de lluvias del día 12 de noviembre de 1988 con las lluvias de diseño utilizadas para la remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986) se han elaborado los pluviogramas de las lluvias registradas durante el día 12 de noviembre de 1988.

Las observaciones meteorológicas consultadas han sido las facilitadas por: 1) el observatorio del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona en la calle Roura de Barcelona, 2) los observatorios de Santa Coloma de Gramanet, de Sant Adrià del Besós y de l'Hospitalet de Llobregat, y 3) los observatorios de Lérida, Palma de Mallorca, Roquetes y Veciana.

Las precipitaciones registradas en cada uno de estos grupos de observatorios aparecen ilustradas en los pluviogramas de las Figuras 4, 5 y 6 respectivamente.

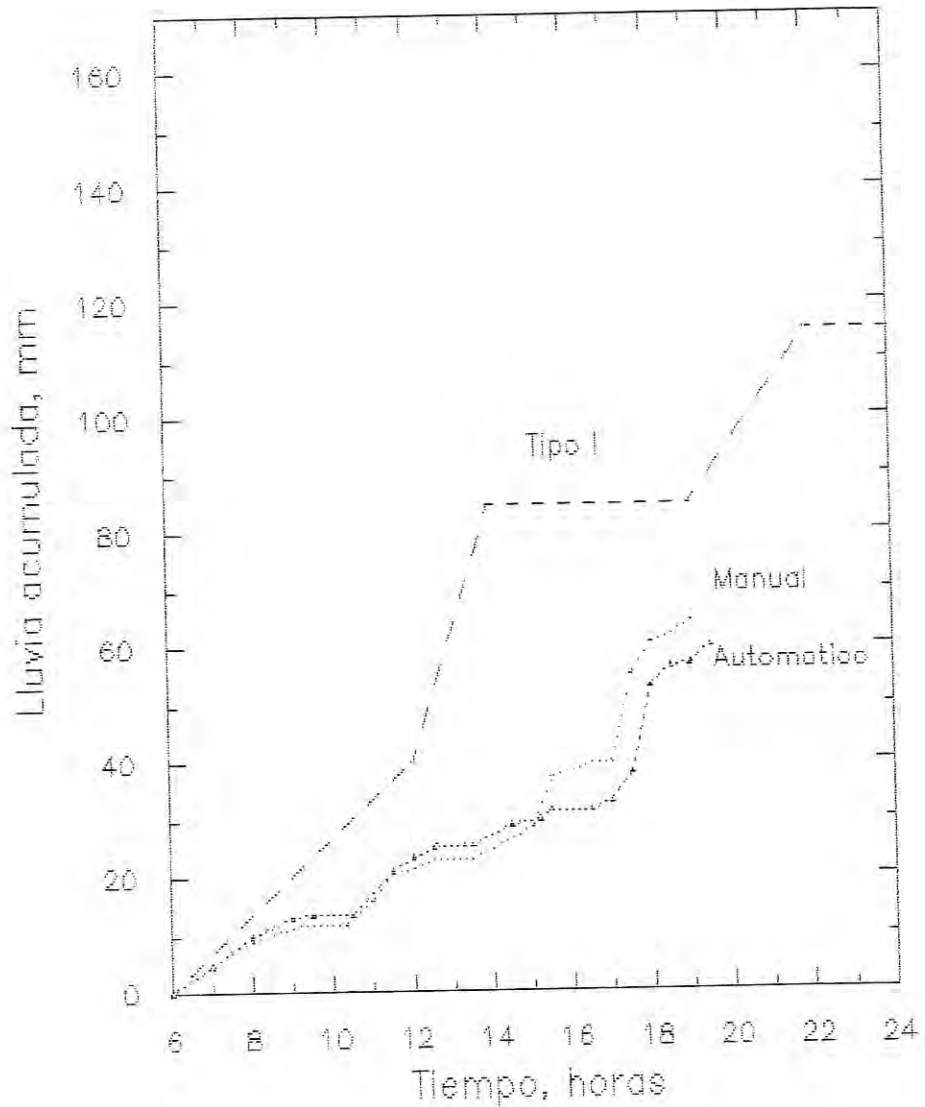


Figura 4. Análisis comparativo de los pluviogramas obtenidos en el observatorio del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona, en la calle Roura de Barcelona, durante el día 12 de noviembre de 1988, con los pluviogramas de diseño adoptados para la remodelación de la red de alcantarillado del El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986).

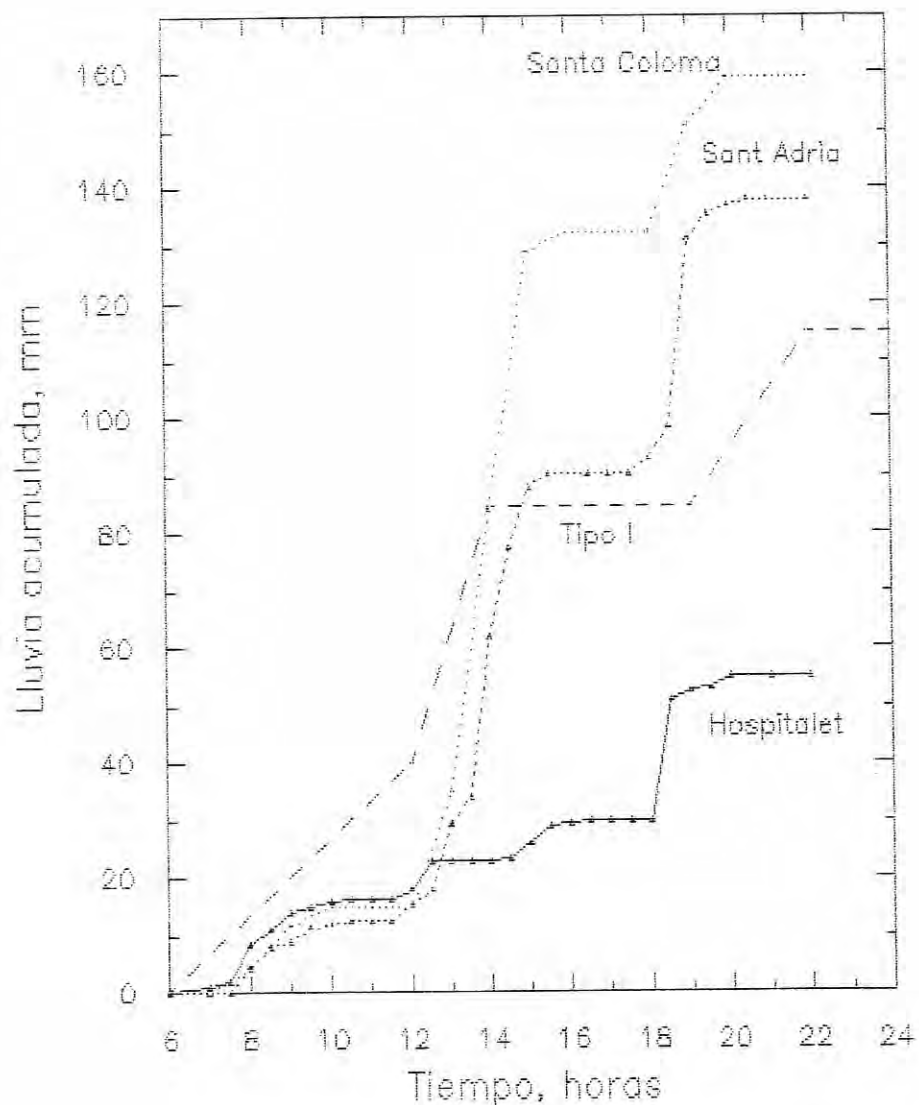


Figura 5. Análisis comparativo de los pluviogramas obtenidos en los observatorios de Santa Coloma de Gramanet, Sant Adrià del Besós, y Hospitalet de Llobregat, durante el día 12 de noviembre de 1988, con los pluviogramas de diseño adoptados para la remodelación de la red de alcantarillado del El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986).

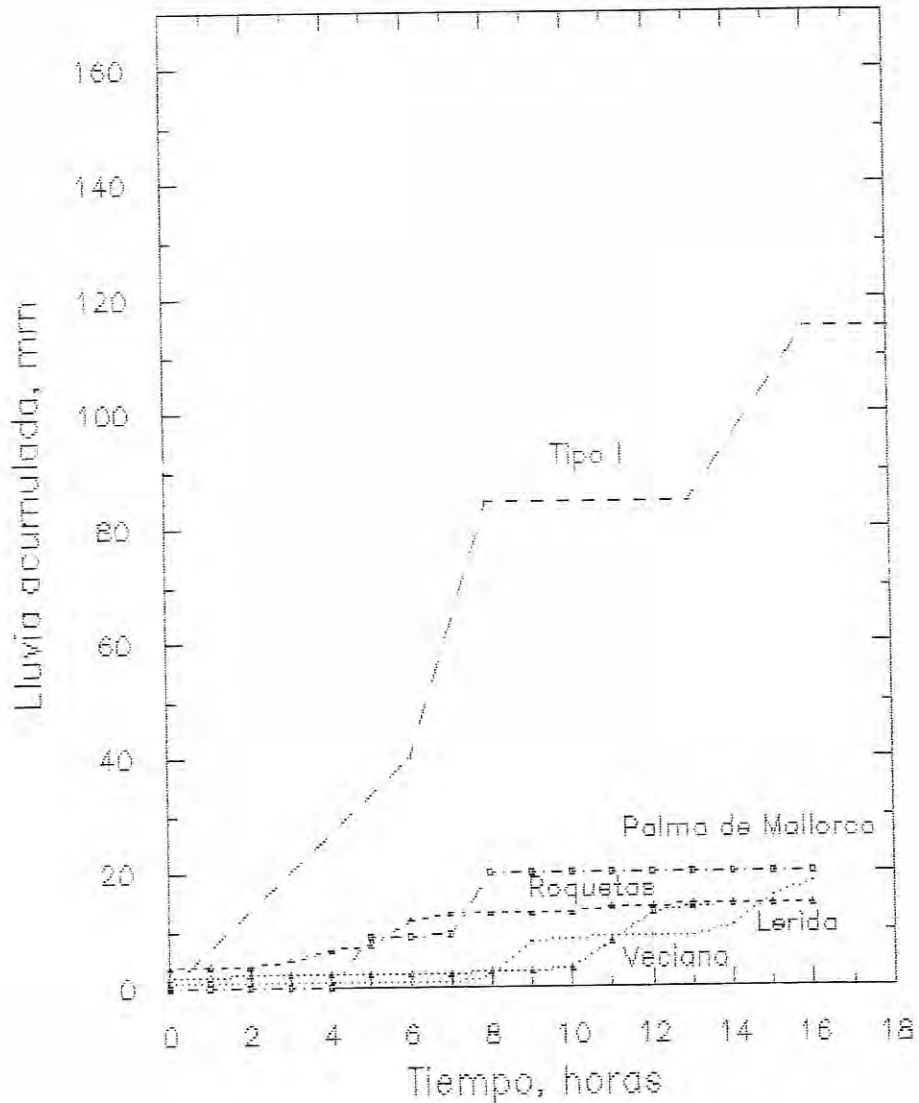


Figura 6. Análisis comparativo de los pluviogramas obtenidos en los observatorios de Lérida, Palma de Mallorca, Roquetas y Veciana, durante el día 12 de noviembre de 1988, con los pluviogramas de diseño adoptados para la remodelación de la red de alcantarillado del El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986).

Un análisis comparativo de los pluviogramas correspondientes al día 12 de noviembre de 1988 y los adoptados para la remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat permite obtener las siguientes conclusiones:

1. Las intensidades de lluvia registradas durante el día 12 de noviembre de 1988 muestran una gran variación dependiendo de la ubicación del observatorio.

Así, mientras que las lluvias registradas en los observatorios del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona, Hospitalet de Llobregat, Lérida, Palma de Mallorca, Roquetas y Veciana son notablemente inferiores a las lluvias de período de retorno de 10 años para la remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat, las precipitaciones registradas en los observatorios de Santa Coloma de Gramanet y Sant Adrià del Besós son considerablemente superiores a esas últimas.

2. Los pluviogramas registrados en los observatorios de Santa Coloma de Gramanet y Sant Adrià del Besós son muy similares a los adoptados en El Prat de Llobregat, y ofrecen las características propias de las lluvias de tipo I identificadas en el estudio de Pantecnia (1969).

Así, después de un paulatino desarrollo de las precipitaciones, las lluvias alcanzan una gran intensidad durante un período de hasta 3 horas, para experimentar a continuación un período de otras 3 horas sin lluvia, y terminar con otro período de lluvia de 2 horas en que llegan a alcanzarse intensidades tan importantes como en los momentos anteriores a la interrupción de las precipitaciones.

3. La intensidad de las lluvias registradas en los observatorios de Santa Coloma de Gramanet y Sant Adrià del Besós fueron considerablemente superiores a las adoptadas en El Prat de Llobregat, llegando a alcanzar 46,5 mm/h durante períodos de 2 horas consecutivas.
4. Los pluviogramas registrados en los observatorios del Centro Meteorológico Zonal de Barcelona en la calle Roura, y del observatorio de Hospitalet de Llobregat muestran un comportamiento similar al del adoptado en el Prat de Llobregat, aunque con intensidades de lluvia mucho menores.

Por último, el que sólo se haya podido disponer de 4 registros pluviométricos a partir de los 48 pluviómetros instalados en el Area Metropolitana de Barcelona pone claramente de manifiesto la escasa eficacia de la actual red pluviométrica. Como ya se indicó en el estudio realizado con ocasión de las lluvias registradas en octubre de 1987, es evidente que mientras no se disponga de series históricas adecuadas de los episodios de lluvia característicos de esta zona no será posible llevar a cabo un dimensionamiento adecuado y fiable de las canalizaciones y

colectores necesarios para el drenaje de las zonas urbanas y agrícolas del Area Metropolitana de Barcelona.

CONDICIONES METEOROLOGICAS

En general, el cielo permaneció cubierto durante todo el día 12 de noviembre, lo que propició una disminución de la temperatura máxima y un aumento de la mínima, con respecto al día anterior. Pese a ello, las temperaturas durante el día 12 de noviembre fueron más elevadas de lo normal, como es característico de este tipo de episodios. En Mas Badía, cerca de Torroella de Montgrí, la máxima fue de 22,3 °C, cuando la media de las temperaturas máximas diarias del mes de noviembre para un período de 30 años es de 16,6 °C. Por otra parte, el día 13 de noviembre se registró un marcado descenso de las temperaturas, alcanzándose una máxima de 18,7 °C en esa misma estación.

La humedad relativa se mantuvo por encima del 80% durante todo el día 12 de noviembre, tanto en la costa como en el interior.

La presión en superficie fue superior a lo normal, como es también característico de este tipo de episodios, manteniéndose en torno a los 1020 hPa. En las bandas del barógrafo queda patente una disminución y posterior aumento de la presión, debido a la formación de cumulonimbos que, en Barcelona, se empezaron a detectar hacia las 11 de la mañana.

El régimen de vientos fue principalmente del Este. Dependiendo de las características locales, la componente dominante fue la NE o la SE. Los vientos más fuertes se produjeron en la costa, registrándose una máxima racha de 50 km/h en L'Estartit, a las 7,30 horas del día 12 de noviembre.

ANALISIS SINOPTICO

Los mapas del tiempo del día 11 de noviembre muestran un anticiclón de 1035 hPa sobre el Este de Europa, cuyo borde afecta a Cataluña, así como una pequeña depresión fría situada sobre el Golfo de Cádiz. Los mapas de altura permiten observar una dorsal con eje NW-SE dirigida desde Argelia hasta Levante, y otra, debida al anticiclón, situada sobre el NE de Europa. Ambas, a una presión de 300 hPa, forman una única loma cuyo eje está combado.

En superficie se inicia una entrada de aire cálido sobre el sur de la Península que, procedente del norte de Africa, se irá extendiendo a lo largo del día a toda la troposfera, llegando a afectar a la casi totalidad de la Península. Simultáneamente, un frente frío atraviesa Europa sin afectar a la Península Ibérica, y se empieza a formar una pequeña zona de altas presiones al noroeste de Galicia.

Como ilustra la Figura 7, el día 12 de noviembre el anticiclón se traslada ligeramente hacia el Sur, manteniéndose a 1035 hPa. La dorsal, muy marcada, se sitúa al este de Cataluña. La pequeña depresión situada en el Golfo de Cádiz se detecta sólo a partir de 700 hPa, habiéndose desplazado ligeramente hacia el Este.

La invasión de aire cálido africano sobre el Mediterráneo es tan intensa que el Centro Meteorológico Europeo la interpreta como un frente cálido. Este aire cálido, que es el que provocó las altas temperaturas registradas, se humedecería a su paso por el mar, donde la inversión de subsidencia originada por el anticiclón permitió la acumulación de vapor de agua en la baja troposfera. Las tormentas que se registrarían en las costas argelina y tunecina indican que se trataba de aire húmedo. Todo parece indicar que una rama del chorro subtropical se desvió hacia el Norte, al igual que había ocurrido en otros episodios.

Sobre Cataluña, el aire era muy cálido y húmedo entre la superficie y 500 hPa. A mediodía del 12 de noviembre, el viento en superficie era del E lo que, considerando que en Palma era del SE, nos indica una marcada circulación ciclónica. Un análisis previo de mesoescala permite situar una pequeña baja en el Mar Balear, por lo que queda abierta la posibilidad de una ciclogénesis Mediterránea. A 850 hPa, el viento era del SE, y del SSW a niveles superiores, lo que comportaba una notable cizalladura que facilitaría el desarrollo de los cumulonimbos.

El día 13 de noviembre se produjo una recesión de la invasión cálida que en superficie ya no afectaba al Mediterráneo. Por otra parte, el anticiclón se había trasladado al NE al mismo tiempo que se había debilitado, al igual que había sucedido con la dorsal. Así mismo, la depresión fría se había situado sobre Levante.

A 850 hPa todavía quedaba aire cálido y húmedo. En el análisis de las 00 UTC, el régimen de vientos sobre Cataluña seguía siendo el mismo que el del día anterior y, aunque a esa hora todavía prevalecían las lluvias, al norte de Cataluña se registraba difluencia.

Durante los días 12 y 13 de noviembre, el frente frío se situó sobre Francia, y la zona de altas presiones se fue extendiendo y reforzando, llegando a alcanzar 1030 hPa y centrándose sobre las Islas Británicas.

Las imágenes del Meteosat muestran claramente la invasión de aire africano que se estaba produciendo así como desarrollo progresivo de cumulonimbos. La perturbación tiene una forma semejante a la de otros episodios similares, tales como el de noviembre de 1983 y de octubre de 1987. La principal diferencia estriba en que, durante el episodio de noviembre de 1988, la perturbación sólo permaneció un día sobre Cataluña, al no existir una situación de bloqueo que le impidiese avanzar.

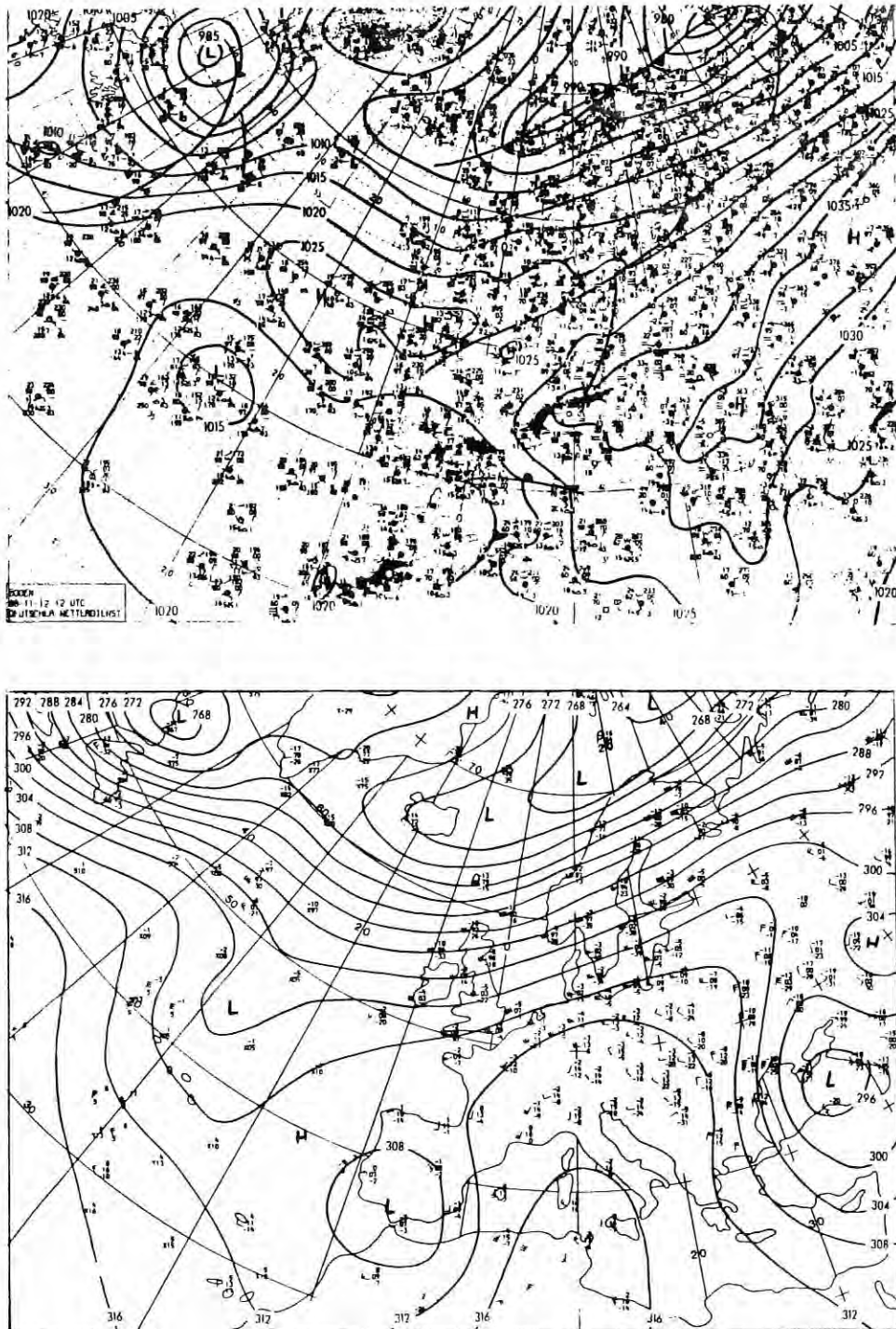


Figura 7. Mapas meteorológicos de superficie y de 700 hPa de las 00 UTC del día 12 de noviembre de 1988. Datos facilitados por el Centro Meteorológico Zonal de Palma de Mallorca.

ANALISIS DE LAS LLUVIAS REGISTRADAS DESDE 1960

La Tabla 2 resume las precipitaciones máximas registradas en 24 horas durante los últimos 25 años en Cataluña.

Como puede apreciarse en la Tabla 2, de los 8 episodios más graves registrados en Cataluña durante la segunda parte de este siglo, 7 de ellos han tenido lugar en las zonas litoral y prelitoral. En líneas generales, los factores desencadenantes de esos intensos episodios de lluvias fueron muy similares: las cordilleras litoral y prelitoral provocaron la precipitación de gran cantidad del vapor de agua contenido en la masa de aire cálido y húmedo proveniente del Mediterráneo (Mujeriego y cols., 1985).

Tabla 2. Precipitaciones máximas registradas en 24 horas durante los últimos 25 años en Cataluña.

Fecha	Area más afectada	Precipitación en 24 horas mm	Observatorio donde se registró
25-09-62	Barcelona	250	Martorelles
20-09-71	Gerona y Barcelona	308	Esparreguera
18,19-10-77	Gerona y S de Francia	276	Cadaqués
6 a 8-11-82	Pirineos Orientales y Sur de Francia	408	Valcebollere
6 a 8-11-83	Litoral	220	Terrassa
30- 9-86 a 2-10-86	Cataluña y Sur de Francia	119	Prats de Montlló
28- 9-87 a 5-10-87	Cataluña	209	Perejada
12-11-88	Gerona y Barcelona	197	Gavà

Por el contrario, las inundaciones registradas en Cataluña en noviembre de 1982 fueron causadas por las precipitaciones producidas en las estribaciones de los Pirineos. Estas lluvias dieron lugar a elevados caudales en las cabeceras de los ríos, especialmente del Llobregat, produciendo una avenida que provocó el desbordamiento del río y la inundación de numerosas zonas próximas a su cauce, particularmente en las proximidades de su desembocadura, en el Area Metropolitana de Barcelona (Mujeriego y Dolz, 1983).

Las Figuras 8, 9 y 10 muestran las precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los episodios de intensas precipitaciones de los años 1982, 1983 y 1987, respectivamente. Tanto estas tres figuras como la Figura 6 ilustran claramente el efecto ascensional y de condensación provocado en los cuatro casos por la orografía de Cataluña, de acuerdo con los estudios de Novoa (1985).

Este fenómeno es todavía más evidente cuando se comparan las precipitaciones registradas durante esos cuatro episodios con las precipitaciones medias anuales correspondientes al período 1944-1980, tal como se ilustra en la Figura 11.

La localización geográfica tan diferenciada que se observa en estos 4 episodios depende fundamentalmente de la altura necesaria para que la masa de aire llegue a inestabilizarse: cuanto menor sea ésta, mayor será la probabilidad de que las precipitaciones se registren en las estribaciones de las cadenas montañosas más bajas.

A estos movimientos ascendentes provocados por la orografía de Cataluña habría que añadir los posibles movimientos de aire originados por el perfil térmico existente en diferentes puntos de Cataluña durante esos días, que pudo verse reforzado por fuentes superficiales de calor. Estas fuentes de calor localizadas explicarían los fenómenos de condensación brusca de aire cálido y húmedo que han dado lugar a intensas precipitaciones en puntos muy distintos de Cataluña durante los 4 episodios estudiados.

CARACTERISTICAS COMUNES DE LOS EPISODIOS DE LLUVIA

Un análisis comparativo de los 4 episodios de intensas lluvias registrados en Cataluña durante los últimos 6 años pone de relieve una serie de características meteorológicas comunes, entre las que cabe destacar los siguientes (Llasat, 1987):

1. Los episodios de intensas lluvias se producen siempre durante el otoño.
2. Las lluvias más copiosas se inician al atardecer, alcanzándose las máximas precipitaciones durante la tarde y la noche.
3. Las precipitaciones máximas registradas en 24 horas superan los 200 mm.
4. El anticiclón está situado sobre Europa, con la zona de altas presiones extendiéndose hasta el Mediterráneo, y dejando a Cataluña al borde de ellas. Esta situación favorece el flujo de aire del SE y da lugar a una inversión de subsidencia sobre el Mediterráneo Occidental característica de los anticiclones, lo que propicia un mayor calentamiento y la acumulación de vapor de agua en la baja troposfera. Esta gran reserva o "almacén" de agua es

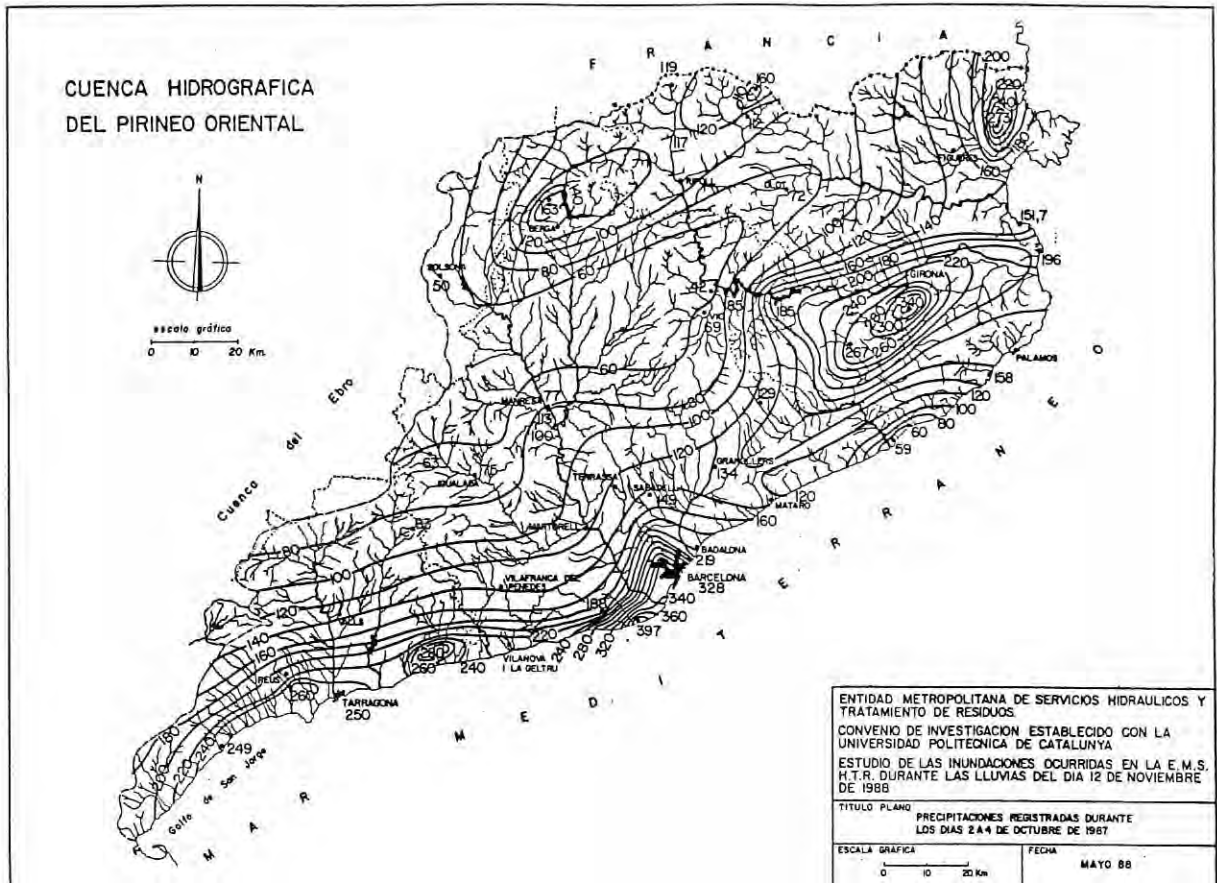


Figura 8. Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde las 7.00 horas del día 2 a las 7.00 horas del día 5 de octubre de 1987 (Mujeriego y cols., 1988).

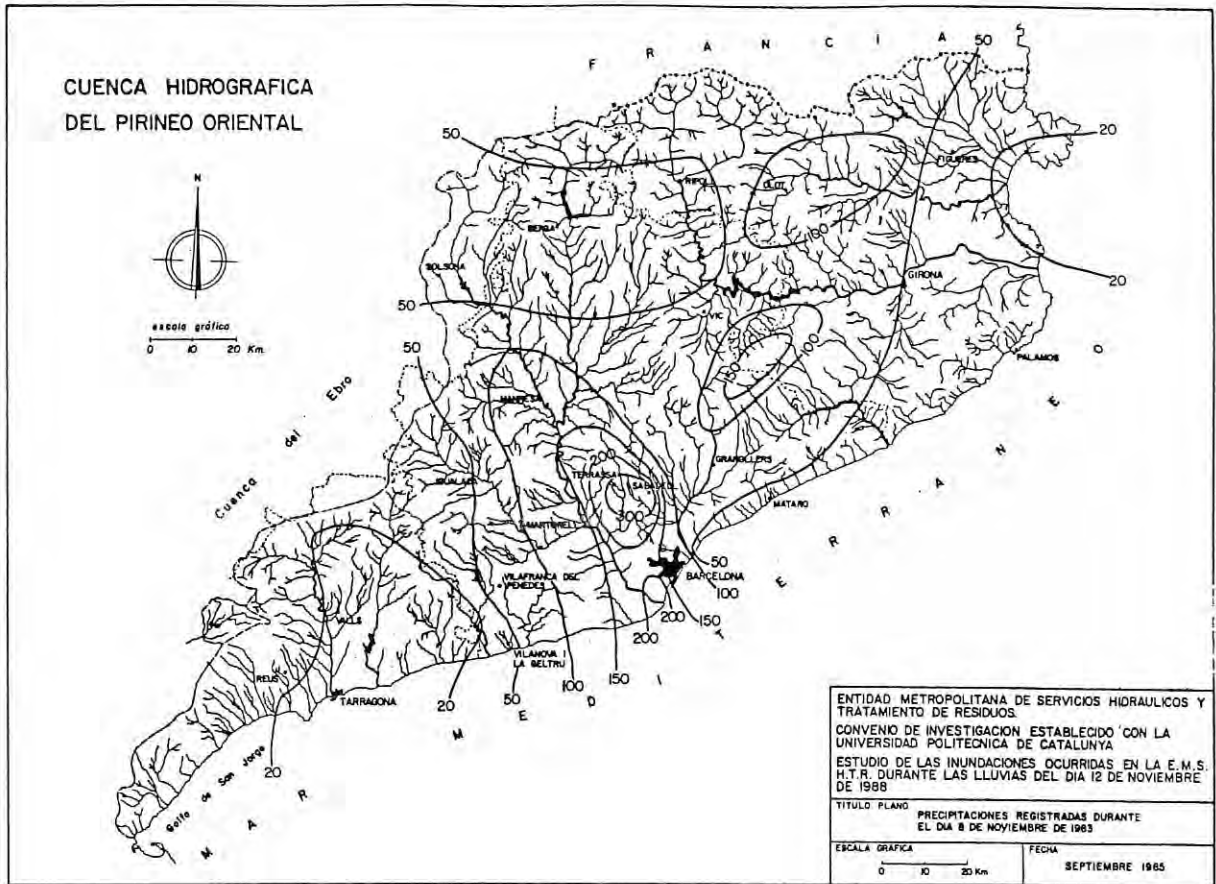


Figura 9. Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde las 8.00 horas del día 6 a las 8.00 horas del día 8 de noviembre de 1983 (Mujeriego y cols., 1985).

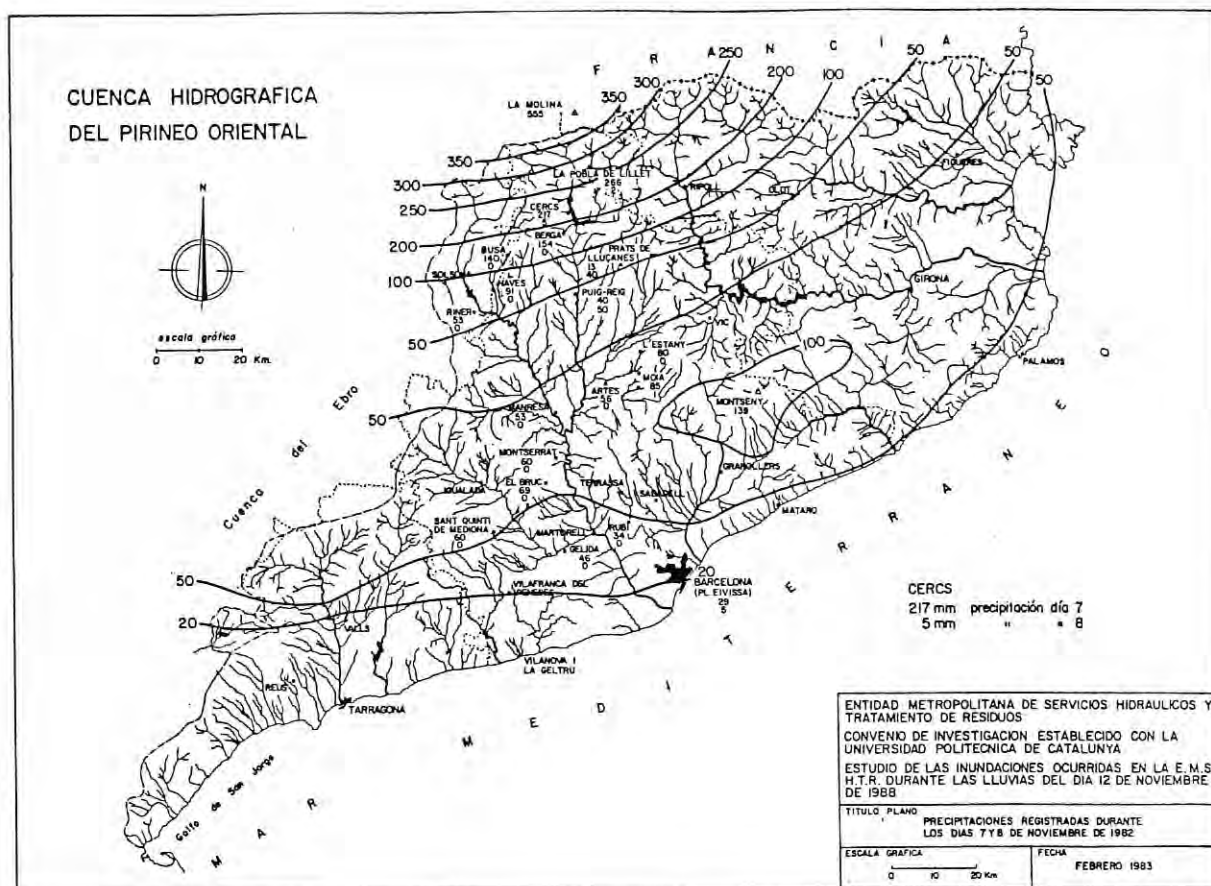


Figura 10. Precipitaciones registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los días 7 y 8 de noviembre de 1982 (Mujeriego y Dolz, 1983).

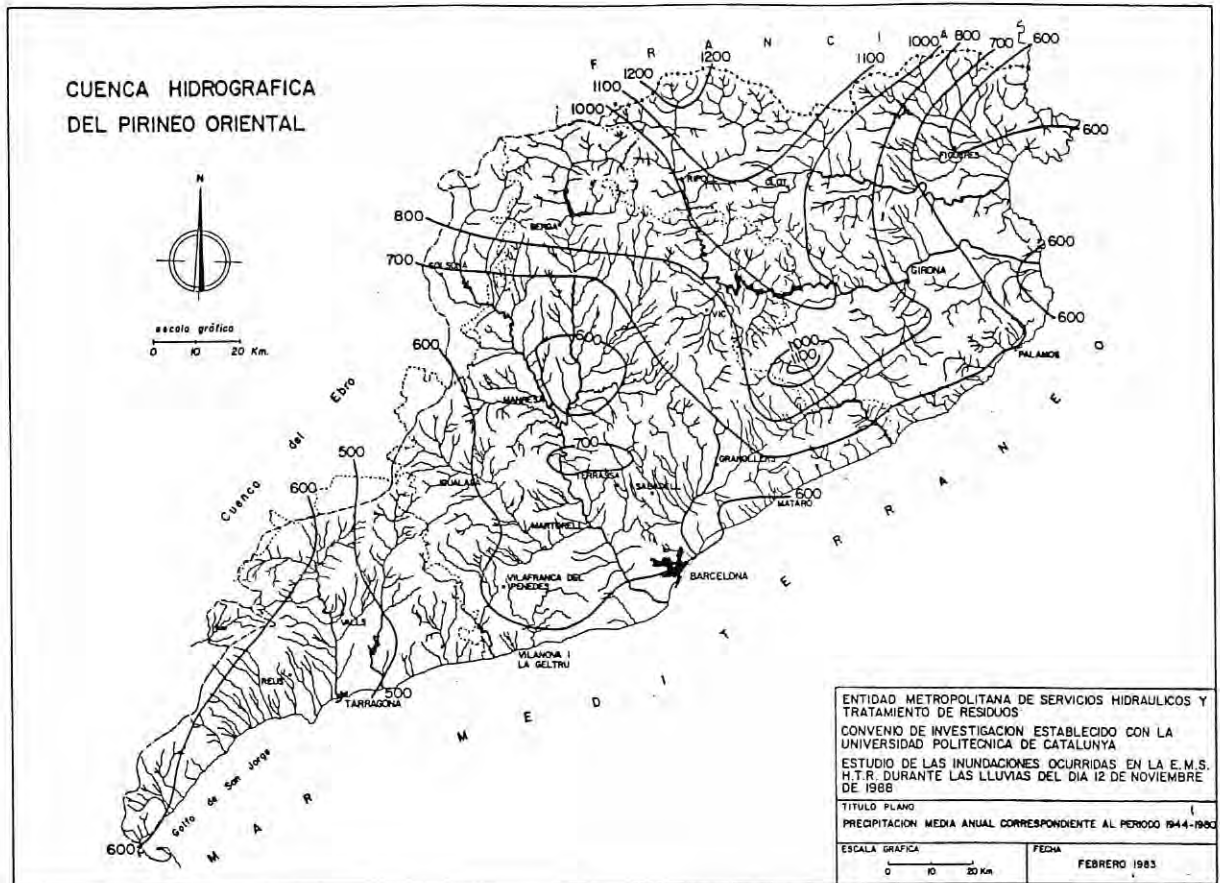


Figura 11. Precipitaciones medias anuales registradas en la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental durante los años 1944 a 1980. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental (Mujeriego y Dolz, 1983).

la que el aire descarga generalmente a su llegada a Cataluña. La entrada de aire africano contribuye también al desarrollo de estos fenómenos.

5. La situación sinóptica en superficie sobre Cataluña no aparece bien definida, no pudiéndose observar ni un anticiclón, ni una depresión, ni un frente frío.
6. Se observa una penetración de aire cálido sobre el Mediterráneo Occidental. Además, la temperatura superficial del mar es muy elevada, superior generalmente a la que es normal durante los meses de octubre y noviembre, sobre todo en las zonas comprendidas entre Argelia y Levante. Así mismo, se observa un máximo de temperatura muy pronunciada en Argelia, y temperaturas superiores a las normales en Cataluña. Todo ello contribuye a una potente evaporación y al desarrollo de movimientos convectivos importantes.
7. Se observa la presencia de aire frío en el Golfo de Vizcaya y al Oeste de la Península, así como al noroeste de Italia, lo que fuerza al aire cálido a circular sobre Cataluña y, en algunas ocasiones, sobre el Sureste de Francia.
8. El fenómeno de subsidencia y la entrada de aire africano provoca el desarrollo de una capa seca en la troposfera media o alta y otra muy húmeda en la troposfera baja, ya que la inversión impide que el vapor de agua se extienda a toda la troposfera y lo concentra bajo ella. Cuando esta masa de aire llega a Cataluña, la orografía provoca la destrucción de esta inversión térmica disparando los procesos convectivos.
9. Gran parte de la troposfera registra una notable inestabilidad condicional y convectiva, lo que determina que las lluvias se produzcan en la costa o en el interior.
10. La corriente en chorro registra una ondulación o bifurcación. Este cinturón de vientos de gran velocidad situado por encima de 5000 m tiene una rama meridional cuyo eje suele pasar por Madrid o La Coruña, y provoca vientos muy fuertes del SW sobre el centro y el oeste de la Península, principalmente en altura.
11. En general, el régimen de vientos en la baja troposfera es de componente SE y de componente SO en la troposfera alta, lo que da lugar a una entrada de aire mediterráneo en dirección casi perpendicular a la costa y a las cadenas montañosas. Por otra parte, en altura se registra una alimentación de aire húmedo del Atlántico y una notable cizalladura.

12. La perturbación suele ser de origen atlántico, es decir, la masa de aire rodea la Península, pasando por el norte de Africa y penetrando en el Mediterráneo.
13. La orografía de Cataluña es el principal factor desencadenante de las intensas lluvias.

PROPUESTA DE RED DE VIGILANCIA

INTRODUCCION

La gran escasez de datos pluviométricos relativos a episodios de lluvia similares al registrado el día 12 de noviembre de 1988 es debida fundamentalmente a dos factores:

1. Las lluvias que suelen producirse entre la segunda quincena del mes de septiembre y la primera de noviembre tienen unas características especiales, completamente distintas a las de las que se registran durante el resto del año.
2. Los equipos pluviométricos y pluviográficos tienen un funcionamiento muy deficiente, debido a las interrupciones de energía eléctrica que suelen registrarse durante estos episodios, y a la falta de un programa de mantenimiento adecuado de estos mismos equipos.

Por otra parte, la poca fiabilidad de los datos disponibles disminuye ostensiblemente la precisión de los cálculos utilizados para definir las dimensiones de los sistemas de drenaje destinados a evacuar los caudales de escorrentía generados.

Para poder efectuar adecuadamente el dimensionamiento de los sistemas de drenaje es necesario disponer de una red apropiada de equipos de medida y registro de los datos pluviométricos. Sólo a través de una red pluviométrica de esas características será posible obtener el volumen de agua recogido y la intensidad alcanzada por la lluvia durante el desarrollo de cada episodio. La intensidad de la lluvia es precisamente uno de los factores más importantes para calcular los caudales de escorrentía generados durante un episodio de lluvia.

OBJETIVO

El objetivo principal de este apartado es establecer los criterios necesarios para seleccionar el tipo de pluviómetro más adecuado en cada caso y el lugar de ubicación más correcto, de modo que con el mínimo número de aparatos puedan registrarse los diferentes regímenes de precipitación que suelen producirse sobre las cuencas vertientes de las rieras que discurren por el Area Metropolitana de Barcelona.

RED PLUVIOMETRICA ACTUAL

La red de equipos de medida y registro de las precipitaciones instalada actualmente en el Area Metropolitana de Barcelona consta de 48 estaciones, en las que no se incluyen las de carácter particular o privado. De esas 48 estaciones, 27 están ubicadas en Barcelona, 14 en la comarca del Barcelonés excluida Barcelona, 6 en la comarca del Baix Llobregat y 1 en la comarca del Vallès Occidental.

La Tabla 3 muestra la relación de organismos que gestionan estos equipos, así como el carácter manual o automático de los pluviómetros existentes. La distinción entre equipos automáticos y convencionales tiene gran interés práctico ya que mientras un equipo automático es capaz de transmitir los datos recogidos mediante un emisor, un equipo convencional requiere la asistencia de una persona para recoger los datos registrados.

La Tabla 4 refleja el número de equipos de medida y registro que suministran información a cada uno de los organismos indicados en la Tabla 3.

Como ha quedado patente al analizar el escaso número de pluviogramas disponibles sobre el episodio de lluvias de noviembre de 1988, y como se puso de manifiesto en el estudio efectuado con ocasión de las lluvias registradas en octubre de 1987 (Mujeriego y cols., 1988b), es absolutamente incomprensible que de los 48 equipos de medida y registro existentes en el Area Metropolitana de Barcelona sólo 4 de ellos hayan permitido obtener datos relativos a las precipitaciones registradas durante el episodio de lluvias del 12 de noviembre de 1988.

Esta circunstancia hace necesario resaltar una vez más que mientras no se disponga de datos precisos, fiables y contrastables de las precipitaciones registradas en el Area Metropolitana de Barcelona no será posible dimensionar adecuadamente los sistemas de recogida y evacuación de las aguas de escorrentía que se generan en esta zona.

El coste unitario de los equipos pluviométricos instalados en el Area Metropolitana de Barcelona oscila aproximadamente entre 250 000 pesetas para los pluviómetros convencionales y 400 000 pesetas para los automáticos. Hay que señalar no obstante que los pluviómetros automáticos pertenecientes a la Facultad de Físicas se adquirieron a un coste unitario de 70 000 pesetas, al ser construidos por un pequeño taller local. Si a este importe se añade el coste de una batería y el de un equipo emisor, el presupuesto aproximado de cada uno de estos pluviómetros automáticos no supera las 200 000 pesetas.

El coste de estos 48 equipos pluviométricos instalados en el Area Metropolitana de Barcelona supera los 11 millones de pesetas. No es necesario realizar un análisis económico detallado para concluir que en las circunstancias actuales el rendimiento de esta inversión es prácticamente nulo al no haber permitido obtener una imagen precisa, fiable y contrastable de las lluvias registradas

durante episodios de intensa precipitación como los ocurridos en noviembre de 1983, octubre de 1987 y noviembre de 1988.

Tabla 3. Relación de organismos que gestionan los equipos de medida y registro de precipitaciones disponibles en el Area Metropolitana de Barcelona.

Organismo	Número de pluviómetros (a)	
	Convencionales	Automáticos
Instituto Nacional de Meteorología (INM)	12	1
Facultad Físicas (UB)	--	13
F. Físicas (UB) - Ayuntamiento	--	3
EMSHTR	--	4
SGAB - INM	4	--
INM - TV3	4	--
Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca	2	--
F. Físicas (UB) - Departament d'Industria i Energia	--	1
FECSA - INM	1	--
Ayuntamiento - INM	1	--
ENHER - INM	1	--
FECSA - INM - TV3	1	--
TOTAL	26	22

a) Los equipos compartidos por varios organismos facilitan información a todos ellos.

La causa principal de este deficiente funcionamiento de los equipos pluviométricos es la falta de un programa adecuado de mantenimiento de los mismos. Los pluviómetros convencionales requieren que una persona se encargue de reponer el papel registrador después de cada episodio de lluvia, y al menos una vez por semana en período de ausencia de precipitaciones. Además, es necesario que esa persona compruebe semanalmente el correcto

funcionamiento del equipo, dé cuerda al sistema de relojería, y subsane cualquier anomalía que haya podido surgir.

Tabla 4. Número de estaciones pluviométricas disponibles en el Área Metropolitana de Barcelona que proporcionan información a cada organismo.

Organismo	Número de estaciones que proporcionan información
Instituto Nacional de Meteorología (INM)	25
Facultad Físicas (UB)	19
TV3	5
EMSHTR	4
SGAB	4
Ayuntamiento de Barcelona	3
FECSA	2
Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca	2
Departament d'Industria i Energia	1
ENHER	1

Este programa básico de mantenimiento de los pluviómetros convencionales fue desarrollado y experimentado durante los 12 meses dedicados a la calibración del modelo numérico de predicción de escorrentía urbana Storm Water Management Model (SWMM) en la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986). Durante todo ese período, el pluviómetro convencional cedido por el Centro Meteorológico Zonal de Barcelona no dejó de funcionar ni un solo día, registrando correctamente las precipitaciones ocurridas en la zona de estudio.

Al igual que ocurre con los pluviómetros convencionales, los pluviómetros automáticos también precisan un mantenimiento sistemático. Dado que su funcionamiento depende del suministro de energía eléctrica y que, durante los episodios de intensa precipitación, el fluido eléctrico suele quedar interrumpido, estos equipos disponen de una batería como fuente alternativa de energía eléctrica. La falta de un programa adecuado de mantenimiento de estos equipos automáticos y, en especial, de un seguimiento sistemático del correcto estado de carga de la batería, han hecho que la mayoría de estos pluviómetros no hayan podido

registrar las precipitaciones ocurridas durante noviembre de 1983, octubre de 1987 y noviembre de 1988.

EQUIPOS DISPONIBLES COMERCIALMENTE

Los equipos pluviométricos pueden clasificarse en dos grandes grupos: los convencionales y los automáticos. A su vez, cada uno de estos grupos puede subdividirse en otros dos:

- | | |
|----------------|--|
| Totalizadores: | Miden el volumen total de agua recogido, sin proporcionar información sobre la intensidad de las precipitaciones. |
| De intensidad: | Aunque no miden directamente la intensidad de las precipitaciones, facilitan información suficiente para poder calcularla. |

El principio general de funcionamiento de los pluviómetros automáticos de intensidad está basado en un sistema electro-mecánico constituido normalmente por un balancín que vuelca al recoger 0,2 mm de agua, interceptando el rayo luminoso de una célula fotoeléctrica, y originando así la correspondiente señal.

En el estudio de un episodio de lluvia como el ocurrido en noviembre de 1988 es esencial poder determinar la intensidad alcanzada por la lluvia, por lo que sólo son de interés los equipos capaces de ofrecer esta información. Por esta razón, el único tipo de pluviómetro considerado en el análisis que aparece a continuación ha sido el pluviómetro de intensidad, no incluyéndose nada de lo relativo a los pluviómetros totalizadores.

PLUVIOMETROS CONVENCIONALES

Entre las ventajas de los pluviómetros convencionales cabe destacar:

1. Proporcionan un registro gráfico.
2. Son mecánicos y, por tanto, no dependen del suministro de energía eléctrica.

Los inconvenientes principales que suelen presentar este tipo de equipos son:

1. No tienen posibilidades de transmitir la información generada, lo que impide su utilización en sistemas de control en tiempo real.
2. No proporcionan directamente el valor de la intensidad de la precipitación.

3. Requieren un considerable mantenimiento, consistente fundamentalmente en una visita después de cada episodio de lluvia, con independencia de la importancia que éstas alcancen, y de una visita mínima semanal durante el período de ausencia de lluvias. Durante estas visitas semanales debe cuidarse especialmente el recambio de los dispositivos de registro gráfico y la reparación de cualquier deterioro causado por los propios agentes atmosféricos como la nieve o las heladas.
4. Precisan una frecuente calibración, tanto de la velocidad de giro del papel registrador como de los volúmenes de agua recogidos en cada vaciado del depósito medidor.

El coste de un pluviómetro convencional oscila aproximadamente entre las 125 000 pesetas, en el caso del equipo más sencillo, hasta las 300 000 pesetas de un equipo dotado de registro mensual y de calefacción. Dentro de este intervalo, y teniendo en cuenta las características climatológicas del Area Metropolitana de Barcelona, donde las heladas no son frecuentes, el coste de un pluviómetro robusto y fiable puede estimarse aproximadamente en 150 000 pesetas.

PLUVIOMETROS AUTOMATICOS

Los pluviómetros automáticos de intensidad ofrecen las siguientes ventajas:

1. Permiten transmitir información en tiempo real.
2. Permiten conocer la intensidad de precipitación instantáneamente, sin que para ello sea necesario digitalizar ninguna banda de registro.

Entre los inconvenientes que presentan los pluviómetros automáticos de intensidad cabe destacar:

1. Necesitan un suministro de energía eléctrica para su funcionamiento.
2. Requieren un sistema alternativo de suministro de energía eléctrica para asegurar la continuidad de su funcionamiento en caso de interrupción del servicio de suministro de electricidad. Este sistema alternativo está constituido por una batería.
3. Requieren de un programa sistemático de mantenimiento que asegure el correcto estado de carga y funcionamiento del sistema alternativo de suministro eléctrico.

4. Son considerablemente más caros que los equipos convencionales.

El coste aproximado de un pluviómetro automático, incluyendo la batería y el emisor remoto de señales, oscila entre 300 000 pesetas para un equipo sencillo, y 510 000 pesetas para un equipo dotado de calefacción y convertidor de corriente. No obstante, la adquisición de un pluviómetro como los construidos por un pequeño taller local por encargo de la Facultad de Físicas permite conseguir un ahorro próximo al 30% del coste total.

PROPUESTA DE UBICACION DE LA RED DE VIGILANCIA

Como se ha analizado en los apartados anteriores, los pluviómetros de intensidad automáticos ofrecen mayor versatilidad que los convencionales, aunque precisan de un mantenimiento que garantice el correcto estado de las baterías o de un grupo electrógeno, de modo que el funcionamiento de los equipos de medida y registro no quede interrumpido por los cortes en el suministro eléctrico que suelen producirse durante los episodios de intensas precipitaciones.

En definitiva, si se consigue asegurar el funcionamiento ininterrumpido de los equipos, la elección de los pluviómetros automáticos parece la más lógica, especialmente si se tiene interés en establecer un sistema de control en tiempo real de la red de drenaje.

La ubicación geográfica de los pluviómetros depende fundamentalmente del grado de uniformidad que se observe entre las precipitaciones registradas en puntos relativamente próximos de la zona de estudio. Durante el episodio de lluvias del día 12 de noviembre de 1988, las curvas de igual precipitación muestran dos máximos claramente marcados a ambos lados de la ciudad de Barcelona, mientras que en ésta apenas se registró precipitación.

En base a la distribución de las precipitaciones registradas durante los episodios de noviembre de 1983, octubre de 1987 y noviembre de 1988 se ha elaborado una propuesta preliminar de ubicación de 20 pluviómetros dentro del Area Metropolitana de Barcelona que aparece resumida en la Tabla 5. Esta red se podría ampliar con 2 ó 3 pluviómetros más ubicados en la ciudad de Barcelona.

La red de pluviómetros propuesta permitiría obtener una imagen suficientemente detallada del régimen de precipitaciones característico de la zona considerada. Lógicamente, la evaluación de la información recogida en futuros episodios de lluvia permitiría modificar tanto el número como la ubicación de estos pluviómetros, hasta conseguir que los resultados generados ofrezcan una imagen precisa y fiable del régimen de precipitación característico del Area Metropolitana de Barcelona.

Tabla 5. Propuesta de ubicación de la red de vigilancia del régimen de precipitaciones del Area Metropolitana de Barcelona.

Municipio de ubicación	Organismo que ya dispone de equipos en la zona
Badalona	INM (2)-Ayuntamiento (2)-FECSA
Barcelona (Zona Franca)	
Barcelona (Les Planes)	
Castelldefels	
Cervelló	
Cornellá	SGAB
Gavà	INM
Molins de Rei	
Montcada i Reixac (Can Cuyás)	
Pallejá	
Prat de Llobregat, El	INM (2) - Aeropuerto
Ripollet - Montcada i Reixac	INM
St. Adrià del Besós	EMSHTR - FECSA
St. Boi de Llobregat	EMSHTR
St. Climent de Llobregat	
Sta. Coloma de Gramanet	INM - Ayuntamiento
St. Cugat del Vallès	
St. Feliu de Llobregat	
St. Vicens del Horts	EMSHTR
Torrellas de Llobregat	

- a) Aunque el municipio de Torrellas de Llobregat no pertenece a la EMSHTR se ha incluido dentro de la red pluviométrica por estar ubicado dentro de una cuenca vertiente con serios problemas de inundaciones.

Los equipos automáticos propuestos estarían integrados por: 1) un pluviómetro automático de intensidad, 2) dos baterías, una de ellas de repuesto, 3) un convertidor y un emisor, y 4) el correspondiente soporte y compartimento estanco para los aparatos eléctricos.

El presupuesto estimado de cada uno de estos equipos automáticos asciende aproximadamente a 200 000 pesetas. Por tanto, el presupuesto total de los 20 pluviómetros automáticos propuestos para la red de vigilancia del Area Metropolitana de Barcelona asciende a 4 millones de pesetas aproximadamente.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE LA RED

El programa de mantenimiento sistemático de la red de pluviómetros automáticos propuesta consiste esencialmente en una visita semanal a cada uno de ellos, durante la que se realizarían las siguientes operaciones:

1. Sustitución de la batería por una batería cargada.
2. Inspección del equipo emisor, comprobando que transmite correctamente los datos registrados.
3. Comprobación del funcionamiento del balancín.
4. Comprobación de la célula fotoeléctrica.

Para la realización de este programa de mantenimiento bastaría con la dedicación de una sola persona, que se encargaría de visitar 5 equipos cada día, realizando en cada uno de ellos las operaciones descritas anteriormente. Teniendo en cuenta la proximidad geográfica de los puntos de ubicación y la posibilidad de establecer unos itinerarios con tiempos de recorrido mínimos, estas visitas podrían realizarse durante las mañanas, quedando las tardes disponibles para recargar las baterías sustituidas y reparar los equipos que hayan sufrido alguna avería.

El presupuesto anual estimado de este programa de mantenimiento puede cifrarse en los siguientes capítulos:

1.	Personal (1 persona)	2 000 000	ptas/año
2.	Furgoneta (Amortización en 5 años) . .	300 000	ptas/año
3.	Material fungible	200 000	ptas/año
4.	Combustible (20.000 km/año)	200 000	ptas/año
5.	Reparaciones y Gastos Generales	300 000	ptas/año

TOTAL 3 000 000 ptas/año

EL SISTEMA HIDRAULICO

Tal como se describe en el estudio sobre "El comportamiento del río Llobregat en el ámbito de la Corporación Metropolitana de Barcelona durante la avenida del 8 de noviembre de 1982", las intensas lluvias caídas en la cabecera de la cuenca del río Llobregat ocasionaron una crecida de su caudal que provocó la inundación de diversas zonas del Area Metropolitana de Barcelona (Mujeriego y Dolz, 1983).

La causa inmediata de esas inundaciones fue la salida de agua desde el cauce hacia las riberas del propio río. Esta salida de agua fue facilitada por los desperfectos existentes en sus márgenes, por los derrumbamientos causados por las aguas en estos mismos márgenes, y por el funcionamiento defectuoso de numerosos dispositivos de desagüe de las redes de alcantarillado de las zonas colindantes que, en aquella ocasión, actuaron como puntos de desagüe del propio río Llobregat.

Como se analiza tanto en el capítulo siguiente como en los estudios sobre las inundaciones ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona en noviembre de 1983 y en octubre de 1987 (Mujeriego y cols., 1985; 1988b), el proceso responsable de las inundaciones ocurridas en noviembre de 1983 y en octubre de 1987 fue diferente del que se acaba de mencionar. En estas dos ocasiones, los caudales de agua de escorrentía generados en las zonas bajas de las cuencas de los ríos Llobregat y Besós fueron los que, al no poder desaguar por sus cauces naturales, desbordaron e inundaron las zonas colindantes.

Las inundaciones acaecidas en noviembre de 1988 tuvieron unas causas muy parecidas a las de los años 1983 y 1987. Por ello, un capítulo de este estudio estará dedicado a la comparación entre las causas, los efectos producidos y las posibles soluciones a adoptar como consecuencia de estos 3 episodios de inundaciones.

Un examen preliminar de los 4 graves episodios de inundaciones ocurridos en el Area Metropolitana de Barcelona entre los años 1982 y 1988 pone claramente de manifiesto dos conclusiones principales: 1) los puntos de comunicación de las cuencas vertientes de los ríos Llobregat y Besós con los cauces de los propios ríos tienen una importancia crítica dentro del sistema hidrológico del Area Metropolitana, y 2) estos puntos han tenido un papel determinante en la mayoría de las inundaciones ocurridas tanto en noviembre de 1982, como en noviembre de 1983, en octubre de 1987 y en noviembre de 1988.

ZONAS INUNDADAS

Los resultados obtenidos durante las visitas de campo realizadas a los municipios del Area Metropolitana de Barcelona han permitido determinar el tipo de zona afectada por las inundaciones registradas el día 12 de noviembre de 1988. La Figura 12 muestra las zonas del Area Metropolitana en las que se produjeron las inundaciones.

Por otra parte, la Tabla 6 ilustra el tipo de zonas afectadas. Los 60 casos de inundación registrados ocasionaron 81 incidentes, de los cuales 44 de ellos afectaron a zonas urbanas, mientras que 27 tuvieron lugar en zonas rurales, generalmente dedicadas a usos agrícolas.

Tabla 6. Análisis comparativo de las zonas afectadas por las inundaciones registradas en el Area Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, 2 a 4 de octubre de 1987, y 12 de noviembre de 1988.

Zona	Número de casos registrados		
	1983	1987	1988
Industrial	2 (5%)	12 (14%)	10 (12%)
Rural	11 (27%)	28 (34%)	27 (33%)
Urbana	32 (68%)	43 (52%)	44 (54%)
TOTAL	45 (100%)	83 (100%)	81 (100%)
Número total de casos	45	66 (*)	60 (*)

(*) Hay casos en los que se inundó más de un tipo de zona.

A estos 60 casos de inundaciones hay que añadir dos casos de desprendimientos de tierras provocados por la escorrentía superficial generada por las lluvias. Aunque en estos dos casos no se registraron inundaciones y por tanto no se han contabilizado en la Tabla 6, el Anexo 4 contiene los correspondientes formularios con la descripción de lo ocurrido. Uno de estos desprendimientos tuvo lugar en el Turó de Mongat (ficha 755), ocasionando el corte de la circulación en la carretera nacional N-II a su paso por

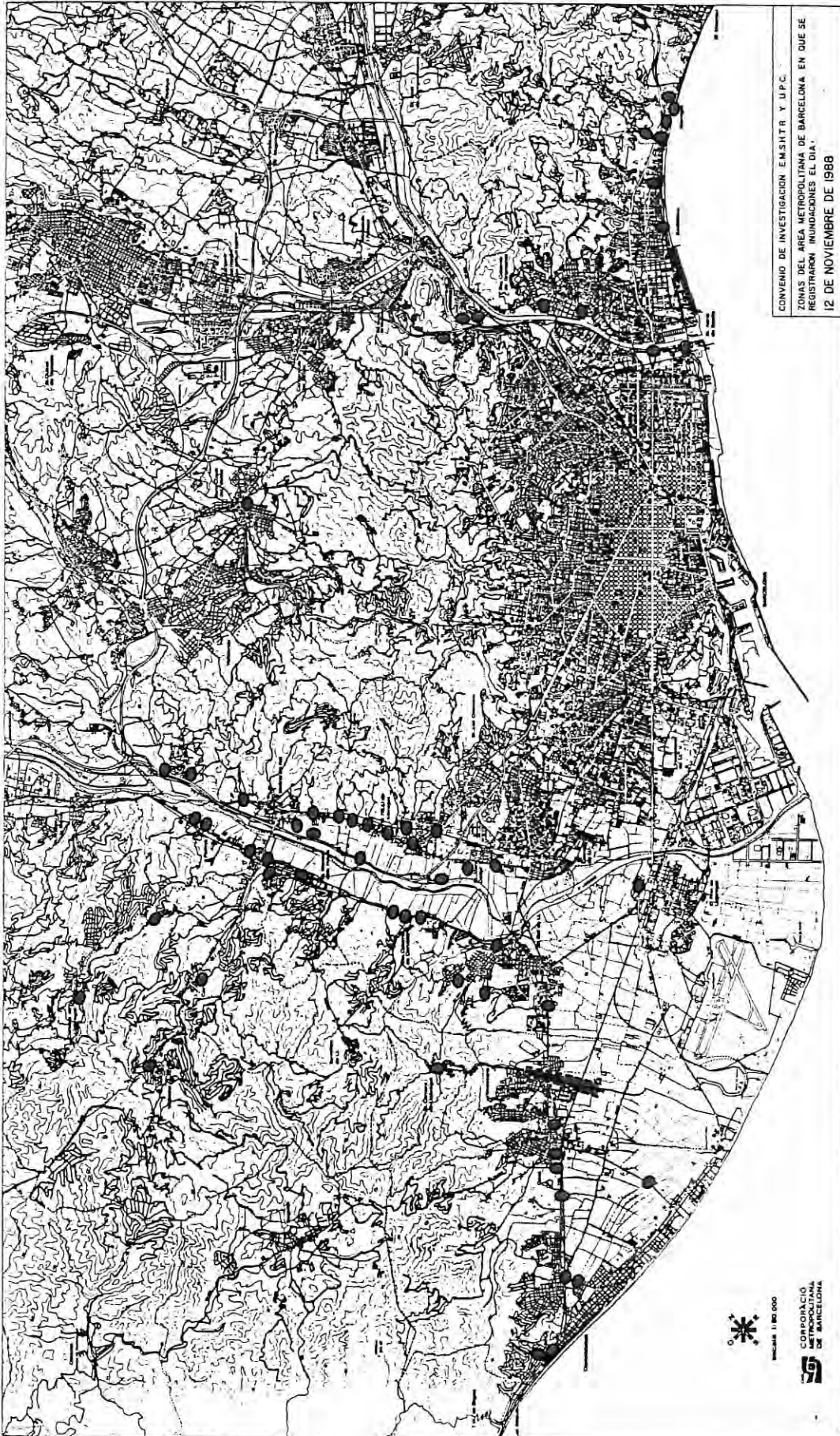


Figura 12. Zonas del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante el día 12 de noviembre de 1988.

Mongat. El otro desprendimiento ocurrió en la carretera de acceso a Montcada i Reixac desde la carretera N-152, lo que ocasionó el corte de la circulación y del acceso a la barriada de Can Joan (ficha 709).

La circunstancia de que un 54% de las inundaciones registradas tuvieran lugar en zonas urbanas del Area Metropolitana pone de manifiesto los considerables daños y perjuicios materiales que éstas ocasionaron, a la vez que evidencia la situación de abandono y negligencia técnica tan grande en que se encuentran los sistemas de drenaje urbano del Area Metropolitana.

El breve lapso de tiempo transcurrido entre las inundaciones de octubre de 1987 y las de noviembre de 1988 no ha permitido realizar grandes actuaciones. Sin embargo, se han terminado algunas remodelaciones, como es el caso de El Prat de Llobregat (ficha 1001), en donde las mejoras alcanzadas han sido muy notables, al haberse suprimido prácticamente las inundaciones que normalmente solían registrarse en el núcleo urbano, y se ha llevado a cabo un programa de limpieza de rieras, cuyos efectos favorables han quedado patentes en la práctica totalidad de las actuaciones emprendidas.

Por el contrario, en las zonas donde por alguna razón no se ha realizado ninguna actuación, las inundaciones han vuelto a repetirse una vez más, con iguales e incluso mayores efectos que en ocasiones anteriores, como ha sido el caso de la riera del Terme (ficha 1301), la riera de Sant Climent (ficha 1151) y todo el término municipal de Sant Vicens del Horts (ficha 1506).

Tal como ya se resaltaba en el estudio realizado sobre las inundaciones de octubre de 1987 (Mujeriego y cols., 1988b), el estado de absoluto abandono en que se han mantenido los sistemas de drenaje del Area Metropolitana durante los 6 años transcurridos desde las inundaciones de 1982 ha contribuido de forma patente al deterioro progresivo del nivel de calidad de vida de las zonas urbanas y agrícolas del Area Metropolitana, ha influido decisivamente en que se produzcan de nuevo las inundaciones registradas en aquella ocasión, y constituye un riesgo real de que las inundaciones vuelvan a producirse durante unas condiciones meteorológicas similares a las registradas en noviembre de 1982, en noviembre de 1983, en octubre de 1987 o en noviembre de 1988.

Hay que resaltar a este respecto que, al igual que ocurrió durante las inundaciones sufridas por las zonas mediterráneas españolas en octubre de 1987, tanto los responsables políticos y técnicos como los medios de comunicación pusieron especial énfasis en la importancia que tiene el disponer de sistemas adecuados de previsión meteorológica, a fin de poder tomar las medidas adecuadas para evitar catástrofes como las ocurridas durante las lluvias registradas en octubre de 1987 y en noviembre de 1988.

Sobre este punto hay que señalar una vez más y de forma clara que la existencia de uno de estos sistemas de previsión, por más perfeccionado que hubiera sido y aún siendo capaz de facilitar previsiones con varios días de anticipación, no habría podido evitar los efectos catastróficos de las inundaciones que se

registraron en noviembre de 1983, en octubre de 1987, y en noviembre de 1988.

El evidente estado de deterioro físico y la ausencia absoluta de mantenimiento de que gozan la mayoría de los sistemas naturales de drenaje urbano y rural del Area Metropolitana de Barcelona exigen medidas correctoras cuya magnitud y duración son muy superiores a las que pueden acometerse en los plazos de tiempo que puede proporcionar cualquier sistema de previsión de avenidas. La recuperación de estos sistemas de drenaje requiere una labor de reconstrucción y mejora, caracterizada por una actuación coordinada y sistemática a lo largo del tiempo.

ORIGEN DE LAS INUNDACIONES

La Tabla 7 contiene un análisis de la procedencia de las aguas causantes de las inundaciones registradas el día 12 de noviembre de 1988. Como puede apreciarse en la Tabla 7, el origen más frecuente de las inundaciones lo constituye el propio cauce de las rieras. En segundo término aparecen las redes de alcantarillado, seguidas en importancia por los ríos, los canales de desagüe y el mar.

Un análisis comparativo de las Tablas 6 y 7, así como de los formularios correspondientes a cada una de las inundaciones, pone de manifiesto que los tramos urbanos del cauce de numerosas rieras constituyen el aspecto crítico más importante del sistema de drenaje de los municipios del Area Metropolitana de Barcelona.

Tabla 7. Análisis comparativo del origen de las inundaciones registradas en el Area Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, 2 a 4 de octubre de 1987, y 12 de noviembre de 1988.

Origen	Número de casos registrados		
	1983	1987	1988
Alcantarillado	7 (16%)	20 (30%)	5 (8%)
Canal de riego	1 (2%)	0	0
Canal de desagüe	0	2 (3%)	3 (5%)
Interceptor	4 (9%)	2 (3%)	0
Riera	32 (71%)	37 (56%)	47 (78%)
Río	1 (2%)	3 (5%)	3 (5%)
Mar	0	1 (2%)	2 (4%)
Nivel freático	-	1 (2%)	0
Total	45 (100%)	66 (100%)	60 (100%)

CAUSA DE LAS INUNDACIONES

La Tabla 8 muestra un resumen de las causas determinantes de las inundaciones registradas en el Area Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, 2 al 4 de octubre de 1987, y 12 de noviembre de 1988.

En la Tabla 8 se han contabilizado todas las causas determinantes que concurrieron en cada inundación. Esto explica que el número total de ocasiones en que se registró cualquiera de estas causas sea superior al de inundaciones registradas, ya que, en general, en cada inundación concurrieron dos o más de las causas consideradas.

De los resultados contenidos en la Tabla 8 y de las observaciones de campo realizadas durante este estudio es posible establecer las siguientes conclusiones:

1. Insuficiente capacidad hidráulica de las rieras.

La insuficiente capacidad hidráulica del cauce de la riera es una de las causas determinantes de la práctica totalidad de las inundaciones registradas. La concurrencia de alguna de las deficiencias incluidas en esta categoría en 94 ocasiones indica claramente que es frecuente observar más de una de estas circunstancias en muchas de las inundaciones registradas.

Entre las causas últimas de esta capacidad hidráulica insuficiente hay que destacar la reducción de sección hidráulica existente en los puntos de intersección de la riera con las vías de comunicación: carretera y ferrocarril. Un ejemplo ilustrativo de la reducción de sección hidráulica ocasionada por el cruce con una carretera es la riera de Can Paissa (ficha 603), mientras que un ejemplo ilustrativo de una circunstancia similar debida al cruce con el ferrocarril lo ofrece la riera de Can Lluc (ficha 1602). La reducción de sección es tan evidente en la mayoría de los casos que basta una simple inspección visual para comprender los efectos catastróficos que el estado de estas intersecciones puede causar durante un episodio de lluvias moderadas o intensas.

Muchas de las deficiencias observadas en el cruce de las rieras con las vías de comunicación son debidas a una concepción inadecuada de la solución de desagüe. Si se tiene en cuenta además que, en la práctica totalidad de los casos, no se realiza ningún trabajo de limpieza y mantenimiento de las obras de desagüe, pueden comprenderse las consecuencias tan catastróficas que tienen estos defectos de diseño.

Tabla 8. Análisis comparativo de las causas determinantes de las inundaciones registradas en el Área Metropolitana de Barcelona durante los días 6 y 7 de noviembre de 1983, 2 a 4 de octubre de 1987, y 12 de noviembre de 1988.

Causa determinante	Número de ocasiones en que ocurrió		
	1983 (*)	1987 (*)	1988 (*)
1. Insuficiente capacidad hidráulica de la riera por:			
a) restricción o barrera en la intersección del cauce con:			
- el ferrocarril	8 (13%)	8 (4%)	9 (5%)
- la carretera	11 (18%)	13 (7%)	19 (11%)
b) sección o pendiente reducida del cauce actual, con o sin rotura del encauzamiento	8 (13%)	17 (10%)	22 (13%)
c) vegetación en el cauce	3 (5%)	18 (10%)	11 (7%)
d) acumulación de arrastres y sedimentos en el cauce	5 (8%)	35 (20%)	21 (13%)
e) acumulación de residuos y escombros en el cauce	4 (7%)	17 (10%)	12 (7%)
Total	39 (64%)	108 (61%)	94 (56%)
2. Dificultades para desaguar en el mar	0	3 (2%)	2 (1%)
3. Utilización de la riera como:			
a) vía urbana, con desagües inadecuados o inexistentes	5 (8%)	14 (8%)	16 (10%)
b) camino, con o sin relleno del cauce	4 (7%)	12 (7%)	11 (7%)
c) zona edificada o de ubicación de terraplén	1 (2%)	6 (3%)	12 (7%)
Total	20 (33%)	32 (18%)	39 (24%)
4. Capacidad hidráulica insuficiente del alcantarillado, del desagüe o del sistema de impulsión	7 (11%)	18 (10%)	17 (10%)
5. Obstrucción de las rejillas de acceso al desagüe	3 (5%)	9 (5%)	7 (4%)
6. Ascenso del nivel freático	2 (3%)	1 (1%)	0
7. Ausencia de obras complementarias como falta de conexión al alcantarillado, falta de desagüe, falta de tramo de conducción, o falta de protección antirretorno	0	7 (4%)	6 (4%)

(*) Los porcentajes corresponden al total de ocasiones en que se detectó cualquiera de las causas determinantes identificada, esto es, 61 casos en 1983, 178 casos en 1987 y 165 casos en 1988.

Un análisis comparativo de las causas determinantes de las inundaciones registradas en 1983, 1987 y 1988 pone claramente de manifiesto el papel tan importante que la insuficiente capacidad hidráulica de las rieras en su cruce con vías de comunicación sigue teniendo como causa determinante de las inundaciones. El número de ocasiones en que se registró esta circunstancia es próximo a 30, lo que representa un apreciable aumento con respecto a 1983. Todos los casos estudiados constituyen puntos críticos de cruce de rieras con vías de comunicación en el Area Metropolitana de Barcelona.

Otro ejemplo de la insuficiente capacidad hidráulica de las rieras lo constituye la riera de Sant Climent (ficha 1801). Las inundaciones provocadas por la riera de Sant Climent son unas una de las más significativas de las registradas en 1988. Las lluvias tan intensas y localizadas registradas en la cuenca de la riera hicieron que las aguas desbordaran su cauce desde su cabecera a su paso por la zona urbana de Viladecans.

2. Acumulación de residuos y basuras.

El programa de limpieza de rieras realizado durante los meses de verano de 1988 ha permitido reducir significativamente el número de casos de inundación en que la causa determinante ha sido la acumulación de arrastres, sedimentos, vertidos, basuras, escombros y vegetación en el cauce de las rieras.

Así, mientras en 1987 el número de inundaciones debidas a estas circunstancias alcanzó la cifra de 70, en 1988 sólo se produjeron 44 casos.

Hay que resaltar, no obstante, que mientras que el crecimiento de la vegetación y la acumulación de arrastres y sedimentos son procesos que se desarrollan durante períodos de varios meses, la acumulación y vertido de residuos agrícolas, basuras y escombros es un proceso que sólo necesita de unas semanas para devolver al cauce de la riera el estado de deterioro en que se encontraba antes del programa de limpieza.

Esta situación se registra especialmente en las rieras que discurren por el delta bajo del río Llobregat, tales como las de Fonollar, Canyars, Parets, Sant Llorenç y Sant Climent, así como en las rieras que desembocan en el río Llobregat y que discurren por los términos municipales de Pallejá, Sant Vicenç dels Horts, Santa Coloma de Cervelló, El Papiol, Molins de Rei, Sant Feliu de Llobregat y Sant Joan Despí. El aterramiento natural de todas estas rieras se vé favorecido por las características orográficas de la zona, con montañas próximas al río, con cuencas vertientes de considerables dimensiones, y con una zona llana en el fondo del valle que propicia la sedimentación.

A pesar del programa de limpieza de rieras realizado durante el verano de 1988 y de los trabajos de limpieza efectuados por diversos Ayuntamientos como complemento a este programa o con posterioridad a las inundaciones, existe un número considerable de rieras en las que la acumulación de vegetación, residuos y basuras puede ser causa determinante de futuras inundaciones.

Como ejemplo ilustrativo de esta situación puede citarse el caso de la riera de Sant Llorenç (ficha 405) desde su salida bajo la factoría Roca. La vegetación, residuos y basura acumulados en este punto dificultan enormemente la circulación de las aguas, produciendo un remanso que se transmite a lo largo de la canalización existente bajo la factoría y provoca la inundación de las zonas próximas a su cruce con la carretera comarcal C-245.

Otro ejemplo ilustrativo de esta misma situación es la riera de Fonollar (ficha 1107), aguas abajo de su cruce con la carretera comarcal C-245. La vegetación acumulada en el cauce de la riera, junto con la considerable reducción experimentada por el cauce de la riera, hacen que las aguas no puedan desaguar por ella, desbordándola e inundando los establecimientos industriales colindantes.

Por último, hay que señalar que la limpieza del cauce natural de las rieras se ve dificultado, con frecuencia, por la existencia de diversos servicios que han sido enterrados en la capa de arrastres depositados sobre el lecho natural de las rieras.

3. Dificultades para desaguar en el mar.

Las dificultades para que los caudales recogidos por las rieras pudieran desaguar en el mar fueron las causas determinantes de 2 casos de inundaciones. La causa inmediata de estas dificultades fue, en un caso, la disminución de la sección del cauce en su tramo final y, en otro, la formación de una barra de arena en la playa, propiciada por la presencia de un temporal de Levante.

Como casos ilustrativos de inundaciones registrados por esta causa pueden citarse las registradas en las lagunas del Remolar y de la Murtra. En el caso particular de la laguna de la Murtra, la situación se vió agravada por la progresiva ocupación de la misma causada por los escombros vertidos desde un camping colindante, con el consiguiente aumento de superficie para acampar, y por el corte en el suministro de energía eléctrica que impidió el funcionamiento de la estación de bombeo de la planta de tratamiento de Gavà-Viladecans. El notable ascenso del nivel del agua en la laguna de la Murtra impidió el desagüe de la Corredera Maestra (ficha 407), provocando la inundación de extensas zonas agrícolas del término municipal de Gavà.

Los trabajos de limpieza de la barra de arena que se forma en la desembocadura de la riera dels Canyars (ficha 404)

facilitó su desagüe, evitando la inundación que tradicionalmente se registra en las zonas próximas.

El caso del canal de la Aviación, en El Prat de Llobregat, se encuadra también en este apartado, aunque en él concurren una serie de circunstancias que agravan notablemente la situación. En primer lugar, el desagüe del canal está constituido por tres tuberías de escaso diámetro, cuyos extremos están permanentemente tapados por arena debido a su proximidad a la línea de costa. En segundo lugar, a las aguas de escorrentía provenientes del núcleo urbano de El Prat de Llobregat vienen con frecuencia a sumarse parte de las aguas de drenaje del Aeropuerto de Barcelona que, mediante un sistema de compuertas y bombes, puede así controlar los niveles del agua en la zona de pistas. El aumento considerable de caudal que este vertido supone, junto con la dificultad de desagüe en el mar y la escasa pendiente del propio canal de la Aviación, reducen considerablemente su capacidad para drenar la cuenca de la Aviación, ocupada por parte del núcleo urbano de El Prat de Llobregat.

4. Utilización inapropiada del cauce de las rieras.

La utilización del cauce natural de la riera como vía urbana, camino rural o incluso como zona edificable, propició la inundación de las zonas colindantes en un 24% de los casos registrados.

La urbanización del cauce natural de las rieras se ha efectuado en unos casos sin proporcionar un cauce o conducción alternativo y, en otros casos, con la provisión de tal conducción, pero sin la de los imbornales necesarios para desaguar el tramo de cauce urbanizado. Esto hace que, en momentos de intensa precipitación, estas calles actúen de verdaderos torrentes, cuyos caudales se acumulan en las partes bajas de la zona urbanizada, al no existir generalmente continuidad en el cauce de la riera.

Esta práctica de sustituir el cauce natural de la riera por una vía de comunicación, tanto en zonas urbanas como en zonas rurales, refleja una absoluta desconsideración de los principios elementales de hidrología e impide que la calidad de este tipo de actuaciones urbanísticas alcance un nivel mínimo satisfactorio.

Un ejemplo ilustrativo de esta situación lo ofrecen las rieras del Pla del Llobregat, en la zona comprendida entre Molins de Rei y Sant Feliu de Llobregat. Las intervenciones del IRIDA para reponer y mejorar los caminos vecinales consistió en su relleno y elevación con tierras de aportación, lo que significó la eliminación de numerosas rieras que venían siendo utilizadas como caminos rurales. Lógicamente, las aguas de escorrentía de estas cuencas tratan de desaguar por sus antiguos cauces que, al estar más altos que los campos contiguos, no lo permiten y provocan la inundación de las zonas colindantes.

Otros ejemplos ilustrativos de esa misma situación lo ofrecen un pequeño torrente afluente de la riera de Cervelló en Vallirana (ficha 2301), y la trama de rieras existentes en el núcleo urbano de Sant Vicens dels Horts (ficha 1506). La implantación de zonas urbanas en los cauces de las rieras hace que las aguas de escorrentía discurran con violencia por las calles, erosionando los pavimentos y taludes, y descalzando las edificaciones que encuentran a su paso.

Un caso de especial gravedad es el registrado en el polígono industrial de Can Cuyàs en Montcada i Reixac (ficha 708). La ubicación de un polígono industrial de 4 hectáreas en el cauce del Torrent Tapioles hace que las aguas de escorrentía no puedan desaguar por el cauce natural de la riera, inundando diversos establecimientos industriales. El nivel de las aguas llegó a alcanzar los 0,80 m sobre el suelo del semisótano de los talleres Renault. Los trabajos de limpieza realizados durante el verano de 1988 evitaron que las aguas provocaran unos destrozos tan considerables como los registrados durante las inundaciones de 1987.

La elaboración de unas normas urbanísticas apropiadas y acordes con los principios de hidrología urbana y rural, así como la observancia sistemática de las mismas, aseguraría un control y desagüe adecuados de las aguas de escorrentía generadas durante episodios de lluvia tan intensos como los registrados desde noviembre de 1982.

Tal como se indicaba en el estudio de las inundaciones de noviembre de 1983 y de octubre de 1987 (Mujeriego y cols., 1985, 1988b) este tipo de deficiencias habrían de ser subsanadas con carácter prioritario, si se quiere evitar la repetición de las inundaciones durante el próximo temporal de intensas lluvias.

Un análisis comparativo de las inundaciones causadas por esta circunstancia en los años 1983, 1987 y 1988 pone de manifiesto que los puntos conflictivos han sido los mismos prácticamente en las tres ocasiones, resultado lógico si se considera la ausencia de medidas correctoras durante el período de 6 años transcurrido desde el primero de estos episodios de lluvia.

5. Insuficiente capacidad hidráulica del alcantarillado.

La insuficiencia hidráulica del alcantarillado, así como del posible sistema de impulsión complementario, fué una causa determinante del 10% de las inundaciones registradas.

Tanto la proporción relativa como la importancia absoluta de este tipo de inundaciones ha sido menor que la alcanzada durante las inundaciones de noviembre de 1983 (Mujeriego y cols., 1985) y similar a la de octubre de 1987 (Mujeriego y cols., 1988b).

El correcto funcionamiento de la estación de impulsión de la Plaza Cerdà impidió, al igual que los días 2 y 3 de octubre

de 1987, la inundación del paso inferior, evitando así el enorme colapso circulatorio que se registró durante las lluvias de 1983, y en menor medida, durante el día 4 de octubre de 1987.

Otro caso ilustrativo es el de la Avenida de la Pineda bajo el ferrocarril de Barcelona a Valencia en Castelldefels (ficha 203). La interrupción en el suministro de energía eléctrica que se registró durante la noche del día 12 de noviembre de 1988 impidió el drenaje del paso inferior, provocando su inundación, y haciendo que el nivel del agua llegara a alcanzar el tablero del puente del ferrocarril, con un gálibo de 4,5 m de altura.

La finalización de las obras de remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat permitió el drenaje adecuado de las aguas de escorrentía, evitando que se reprodujeran las inundaciones que tradicionalmente sufría el núcleo urbano. No obstante, hay que señalar que los aparcamientos del centro comercial situado en la cabecera de la cuenca de la Aviación quedaron completamente inundados, llegando el agua a alcanzar hasta 1 m de altura. El colector de 0,40 m de diámetro que drena esta zona, y que atraviesa la Autovía de Castelldefels, La Seda de Barcelona y la vía férrea es claramente insuficiente, y constituye la causa determinante de esas inundaciones.

Todo parece indicar que, una vez terminadas las obras de construcción de los colectores urbanos y parte de los canales de desagüe al mar, el núcleo urbano de El Prat de Llobregat se verá libre de las inundaciones que solía padecer durante episodios de lluvia como los de noviembre de 1988. Únicamente quedará por resolver en futuras etapas la remodelación del cauce y del punto de desagüe al mar de los canales de la Bunyola y la Aviación, dificultados actualmente por la barra de arena que suele producirse en su desagüe en el mar, especialmente en presencia de temporales de Levante.

6. Obstrucción de las rejillas de desagüe.

La obstrucción de las rejillas de desagüe fué una causa determinante en un 4% de las inundaciones registradas.

La acumulación tanto de arrastres naturales como de residuos y basuras de todo tipo hizo que estos dispositivos de protección perdieran rápidamente su capacidad de desagüe, favoreciendo así la acumulación del agua de escorrentía que les llegaba.

Estas rejillas no gozan generalmente de un servicio de limpieza y mantenimiento sistemáticos que las mantenga operativas en todo momento, lo que las convierte en causa determinante de inundaciones con mucha frecuencia.

Un análisis comparativo de las inundaciones registradas en noviembre de 1983 y en octubre de 1987 con las acaecidas

en noviembre de 1988 revela la existencia de una situación idéntica en cuanto al estado físico y al mantenimiento de las rejillas de desagüe. El programa de limpieza de rieras llevado a cabo por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos junto con algunos Ayuntamientos, en particular el de Montcada i Reixac, ha permitido que la mayoría de las rejillas funcionaran correctamente durante las lluvias del 12 de noviembre de 1988.

Una concepción técnica adecuada de estos dispositivos, junto con un programa sistemático de limpieza y mantenimiento, y un programa de control de vertidos de basuras y escombros en los cauces de las rieras, contribuiría decisivamente a evitar que se repitan este tipo de inundaciones y se gasten inútilmente fondos públicos en construcciones inadecuadas.

7. Subida generalizada del nivel freático.

En contraste con la subida generalizada del nivel freático que se registró en la zona baja del delta del río Llobregat durante el otoño de 1987, las lluvias registradas en noviembre de 1988 no han producido ningún aumento apreciable del mismo.

La mayor proximidad a la líneas de costa de las zonas de máxima precipitación podría explicar que la recarga del acuífero confinado del Delta del río Llobregat no llegara a producirse de forma tan marcada como sucedió durante las lluvias de octubre de 1987.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN 1983, 1987 Y 1988

INTRODUCCION

Como se ha señalado en apartados anteriores, las inundaciones registradas en noviembre de 1988 fueron muy similares a las ocurridas en octubre de 1987, que a su vez fueron una réplica de las acaecidas en noviembre de 1983. Esta similitud se debe a que el estado de los sistemas de desagüe del Area Metropolitana de Barcelona no ha sufrido modificaciones sustanciales desde noviembre de 1983.

El estudio de las inundaciones ocurridas en octubre de 1987 (Mujeriego y cols., 1988b) recomendaba la implantación de un programa de medidas correctoras, entre las que destacaba la limpieza de los cauces de las rieras. Como respuesta a esta recomendación, la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos encargó un estudio específico (Mujeriego y cols., 1988a) en el que se incluyó una memoria valorada del programa de limpieza de rieras inicialmente propuesto. Los trabajos de limpieza del cauce de las rieras se llevaron a cabo durante el verano de 1988, con resultados muy desiguales en función de las circunstancias de cada riera.

Como se ha indicado al estudiar las causas inmediatas de las inundaciones de noviembre de 1988, las obras en curso de ejecución para la canalización y encauzamiento de diversos sistemas de drenaje del Area Metropolitana tuvieron una contribución decisiva en la génesis de ciertos casos de inundaciones. Por otra parte, sigue habiendo casos singulares en los que, por no haberse realizado ninguna de las mejoras recomendadas en anteriores estudios, volvieron a producirse los efectos catastróficos de las inundaciones.

Existen una serie de casos particulares en los que por 1) su especial conflictividad, 2) los daños causados, 3) la continuada repetición de las inundaciones, ó 4) los beneficios obtenidos tras las actuaciones realizadas en los últimos años, requieren un análisis y evaluación diferenciados.

PROGRAMA DE LIMPIEZA DE RIERAS

Durante el primer semestre de 1988 se elaboró un programa de limpieza de rieras del Area Metropolitana de Barcelona (Mujeriego y cols., 1988a), siguiendo las recomendaciones contenidas en el estudio de las inundaciones de octubre de 1987 (Mujeriego y cols., 1988b).

Este programa de limpieza de rieras, que se llevó a la práctica durante el verano de 1988, consistió básicamente en aumentar la capacidad hidráulica de gran parte de las rieras del Area Metropolitana, bien en puntos concretos donde usualmente se acumulan arrastres y vertidos, bien a lo largo de un tramo de abundante vegetación. La Tabla 9 resume las rieras incluidas inicialmente en el mencionado programa de limpieza. Hay que señalar no obstante que las actuaciones llevadas realmente a cabo en algunos casos fueron ligeramente diferentes de las previstas, debido a modificaciones surgidas a última hora.

En general, el efecto de este programa de limpieza de rieras ha sido favorable. Aunque la situación ha mejorado en la mayoría de los casos, también es cierto que algunas actuaciones han sido claramente insuficientes.

Como ejemplo de esta última circunstancia, cabe destacar el caso de las rieras Basté (ficha 1105) y Gasulla (ficha 1106) en las que las obras de encauzamiento de la riera Bertrán (ficha 1101) a través de la zona baja del núcleo urbano de Sant Boi de Llobregat dificultaron la libre circulación de las aguas de lluvia provenientes de la parte alta de la cuenca. Los trabajos de limpieza realizados durante el verano de 1988 permitieron que las aguas discurrieran a mayor velocidad de la que habrían alcanzado en el estado anterior del cauce, lo que provocó daños mayores si cabe que los que se habrían producido en ausencia de los trabajos de limpieza.

Del mismo modo, el dispositivo de retención de sólidos construido en la riera de Sant Just permitió retener una gran cantidad de arrastres pero quedó totalmente colmatado, poniendo de manifiesto su insuficiente capacidad y la necesidad de que sea ampliado en el futuro.

Otro ejemplo ilustrativo de la insuficiencia del programa de limpieza efectuado durante el verano de 1988 lo ofrecen las rieras que discurren por el Plà del Llobregat, entre Sant Feliu de Llobregat y Molins de Rei. El efecto beneficioso conseguido con la limpieza de los pasos bajo la carretera N-II se vió limitado por los sedimentos acumulados en los tramos de los cauces comprendidos entre la carretera N-II y el canal de desagüe, cuya limpieza no se llevó a cabo, a pesar de estar incluida en el programa de limpieza adoptado.

Pese a todo, las rieras en las que se realizaron trabajos de limpieza tuvieron un comportamiento hidráulico más satisfactorio que aquellas en las que no se realizó ninguna actuación. Hay que señalar que las rieras del Terme (ficha 1301) y Benet (ficha 602) no se incluyeron en el programa de limpieza en razón de la inminente realización de las obras de encauzamiento definitivo.

Entre las actuaciones incluidas en el programa de limpieza hay que destacar las realizadas en el Torrent Tapioles, cuyo comportamiento merece un apartado específico dentro de este capítulo, en razón de las importantes consecuencias de las inundaciones que suele provocar. En general, las aguas de escorrentía circularon con normalidad por el Torrent Tapioles, aunque se registraron retenciones apreciables en las inmediaciones del polígono industrial de Can Cuyàs, debido a la insuficiente

Tabla 9. Rieras del Area Metropolitana de Barcelona incluidas en el programa de limpieza elaborado para aumentar su capacidad hidráulica (Muñeriego y cols., 1988a).

Código	Riera	Municipio
106	Torrent Tapioles	Barcelona
201	Corredera Principal	Castelldefels
205	Bellamar	Castelldefels
302	Sant Cugat	Cerdanyola del Vallès
401	Parets	Gavà
404	Canyars	Gavà
603	Can Paissa	Molins de Rei
605	Can Sant Tomàs	Molins de Rei
606	Canal de Desagüe	Molins de Rei
705	Rejas Can Joan	Montcada i Reixac
706	Reja c/ Joaquín Castellví	Montcada i Reixac
707	Reja c/ Antonio Pujades	Montcada i Reixac
708	Torrent Tapioles	Montcada i Reixac
751	D'en Font	Mongat
753	De Tiana	Mongat
801	Ases	Pallejà
804	Boter	Pallejà
901	Batsacs	El Papiol
902	Argiles	El Papiol
1202	Sant Cugat	Sant Cugat del Vallès
1303	Escorxador	Sant Feliu de Llobregat
1304	Sant Just	Sant Feliu de Llobregat
1305	Sin nombre	Sant Feliu de Llobregat
1402	Canal de Desagüe	Sant Joan Despí

sección de las tuberías que pasan bajo la entrada de los talleres Renault.

Otro ejemplo ilustrativo de las mejoras conseguidas con el programa de limpieza lo ofrece la Corredera Maestra (ficha 407). Las aguas de escorrentía circularon con normalidad desde su cabecera hasta las proximidades de la Av. Bertrán i Güell. Sin embargo, la interrupción del sistema de impulsión que lleva las aguas desde la laguna de la Murtra hasta el mar, debido al corte en el suministro de energía eléctrica, provocó la subida progresiva del nivel del agua, cuyos efectos se transmitieron hasta la Av. Bertrán i Güell.

PUNTOS CONFLICTIVOS QUE NO HAN MEJORADO

El programa de limpieza de rieras realizado durante el verano de 1988 no incluyó aquellas rieras que iban a ser urbanizadas o canalizadas en un futuro inmediato. Tales fueron los casos de la riera Benet (ficha 602) ubicada en Molins de Rei, y de la riera del Terme (ficha 1301) que discurre por Sant Feliu de Llobregat. En ambos casos, el agua desbordó rápidamente la riera al no encontrar un cauce definido y capaz de evacuar los caudales generados.

Otro caso ilustrativo lo ofrece la riera dels Ases (ficha 801) a su paso por el núcleo urbano de Pallejà. La ausencia de un cauce definido tras su paso bajo la carretera N-II, debido a la inadecuada urbanización de la zona y la contrapendiente de la calle que lo sustituye, provoca el embalsamiento del agua, la interrupción de la circulación bajo la carretera N-II y la inundación de las calles adyacentes.

La riera d'en Manya (ficha 1502) tenía dos puntos conflictivos: 1) la obra de salida bajo la carretera N-II y 2) la eliminación de su cauce por el terraplén de una instalación industrial, en el enlace de Cuatro Caminos. Las actuaciones realizadas dentro del programa de limpieza corrigieron la primera de estas deficiencias, evitando la inundación de la carretera N-II que se había registrado en anteriores ocasiones. Por el contrario, la ausencia de cauce aguas abajo de este punto provocó la inundación de las zonas agrícolas e industriales colindantes.

En definitiva, la ausencia prácticamente total de medidas correctoras sobre algunos de los puntos conflictivos de las inundaciones registradas en octubre de 1987 ha propiciado la repetición de las inundaciones durante las lluvias de noviembre de 1988. Como queda de manifiesto en los ejemplos antes citados, el agente causal más inmediato de esas inundaciones ha sido la falta de sección para que las aguas de escorrentía puedan circular por sus cauces naturales.

PROBLEMAS SURGIDOS EN OBRAS EN EJECUCION

Entre las inundaciones provocadas por obras en proceso de ejecución cabe citar la ocurrida en el canal de desagüe paralelo a la autopista A-2. El acceso a los campos situados entre el río Llobregat y la autopista A-2 se efectúa mediante dos pasos inferiores a la autopista, de idéntica estructura y situados en las inmediaciones de la estación de servicio San Cristóbal en el punto kilométrico 7 de la autopista A-2. Las bocas de los túneles próximas al río se protegen con un talud de tierra para evitar que, en caso de crecida, el agua pase bajo la autopista A-2 e inunde los núcleos urbanos de Molins de Rei y Sant Feliu de Llobregat y las zonas agrícolas adyacentes.

Durante las obras de construcción de un colector e instalaciones auxiliares, se demolió el talud de protección del túnel más próximo a Sant Feliu de Llobregat. La crecida del río hizo que el agua accediera hasta el canal de desagüe paralelo a la autopista A-2. Este canal de desagüe, ya de por sí insuficiente para evacuar todo el agua de escorrentía proveniente de las rieras que discurren desde Molins de Rei hasta Sant Feliu de Llobregat, fué incapaz de desaguar los caudales resultantes y provocó la inundación de los campos colindantes.

Cuando las aguas del río se retiraron, este mismo paso bajo la autopista sirvió de drenaje de las zonas inundadas, hasta que el nivel del agua fué inferior a la cota de la solera del túnel.

Otro ejemplo destacado de los problemas causados por obras en curso de ejecución fue la inundación del barrio de La Catalana. La causa inmediata de las inundaciones fueron las obras de construcción de un nuevo puente sobre el río Besós que, situado aguas abajo de los puentes de la autopista A-19, está destinado a servir de alternativa de comunicación entre ambas márgenes del río.

Las obras de construcción del puente redujeron el cauce útil del río a la mitad, a causa del terraplén construido para servir de apoyo al cimbrado destinado a encofrar el tablero. Por otra parte, los hastiales del encauzamiento fueron cortados transversalmente para poder ubicar las zapatas y los pilares del puente. Aunque estos cortes se protegieron temporalmente con escollera, la protección no fué suficiente para soportar el empuje de las aguas del río, que rápidamente se escapó del cauce a través del debilitamiento del hastial derecho, introduciéndose en el alcantarillado. El barrio de La Catalana quedó rápidamente inundado por el agua del río, llegando a alcanzarse niveles entre 20 y 25 cm sobre el suelo, y derrumbándose media docena de casas, cuyo estado anterior ya era muy deficiente. Hay que señalar que, una vez terminadas las obras y restituido el encauzamiento del río, no cabe esperar que se reproduzcan este tipo de inundaciones.

Un tercer ejemplo de los problemas surgidos por obras en proceso de ejecución lo constituye las inundaciones causadas por la riera Bertrán (ficha 1101) en el núcleo urbano de Sant Boi de Llobregat. La causa inmediata de las inundaciones fué la

incapacidad de desagüe del puente de la carretera BV-2002 de Sant Vicens del Horts a Sant Boi de Llobregat. Las obras de encauzamiento y ampliación del cauce de la riera aguas arriba de este punto permitieron el drenaje rápido de las zonas urbanas colindantes, originando unos caudales considerablemente superiores a la capacidad de desagüe bajo el puente. La rápida obstrucción del cauce de las rieras Basté y Guinovart a su entrada en el núcleo urbano de Sant Boi de Llobregat, redujo los caudales circulantes por el núcleo urbano, impidiendo así que las inundaciones alcanzaran todavía una mayor gravedad.

Hay que señalar que este puente ha sido recientemente demolido, con motivo de las obras de acondicionamiento del cauce de la riera en este punto. La solución que se adopte para su sustitución habrá de tener en cuenta la magnitud de los caudales circulantes.

Como recopilación de las observaciones realizadas dentro de este apartado, la Tabla 10 contiene un resumen de las obras realizadas por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos durante el período de 1983 a 1988, en el que se ha tratado de valorar la eficacia de estas actuaciones para reducir o eliminar las causas de las inundaciones registradas en anteriores ocasiones.

Tabla 10. Resumen de las obras realizadas por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos durante el período 1983 a 1987, y valoración de su eficacia como medidas correctoras de las inundaciones.

Municipio	Descripción	Efecto	Observaciones
Badalona	Colector de Ponent	----	
Barcelona	Plaza Ildefonso Cerdá	Favorable	Se inundó aguas arriba de la actuación por fallo eléctrico
Barcelona	Riera de Horta	Favorable	
Barcelona	Parte Riera Blanca	----	
Hospitalet de Llobregat	Amadeo Torner	----	Falta conexión y desagüe
El Prat de Llobregat	Cuenca de la Bunyola	Favorable	Sin inundación aguas arriba. Inundación al final del colector
El Prat de Llobregat	Cuenca de la Aviación	Favorable	Inundaciones en zonas del núcleo urbano aguas arriba de los tramos de colector en remodelación
Sant Boi de Llobregat	Riera Basté	Favorable	Falta mejorar la riera Bertrán, aguas abajo de la riera Basté
Sant Feliu de Llobregat	Riera de la Font o Escorxador	----	
Sant Joan Despí	Fonsanta	----	Falta tramo intermedio
Sant Vicenç dels Horts	Interceptor Norte	----	

ANÁLISIS DETALLADO DE INUNDACIONES

1. Torrent Tapioles

El Torrent Tapioles discurre por los términos municipales de Cerdanyola, Montcada i Reixac y Barcelona. Su cuenca vertiente es de 324 ha y sus aguas desembocan en el río Besós.

Entre los accidentes que el cauce del torrente ha sufrido resalta por su importancia el polígono industrial de Can Cuyàs, ubicado en el propio cauce del torrente. Esta inadecuada localización ha sido la causa inmediata de las graves inundaciones sufridas por el polígono industrial durante los episodios de intensas lluvias de noviembre de 1983, octubre de 1987 y noviembre de 1988.

Aunque no se dispone de información detallada de lo ocurrido durante las lluvias del día 8 de noviembre de 1983, es fácil suponer que se registraran inundaciones de las consideradas normales por los trabajadores de la zona, esto es, que el agua alcanzara 20 ó 30 cm dentro de las fábricas, y que éstas se quedaran llenas de barro y lodo.

No obstante, estas inundaciones no motivaron ninguna actuación, ni por parte de las diferentes Administraciones, ni de la comisión gestora del polígono industrial que todavía no había sido traspasado al Ayuntamiento de Montcada i Reixac.

Con motivo de las lluvias ocurridas los días 2 a 4 de octubre de 1987 y, en particular, de la acaecida durante la mañana del domingo 4 de octubre, el polígono sufrió la inundación más grave de las registradas hasta ese momento. Entre las diversas causas determinantes de la magnitud de lo ocurrido cabe destacar:

1. La gran intensidad de la lluvia caída.
2. La incomprensible ubicación del polígono industrial, situado en el propio cauce de la riera.
3. El lamentable estado de conservación en que se encontraba el reducido cauce del torrente, cubierto de vegetación y de todo tipo de escombros y arrastres.
4. Las desafortunadas actuaciones hidráulicas llevadas a cabo para dar acceso a diversas instalaciones industriales que reducían todavía más el cauce del torrente. Baste señalar los encauzamientos realizados bajo dos accesos a otras tantas industrias consistentes en dos tubos de 80 cm de diámetro, en un caso, y en dos tubos de 50 cm de diámetro, en otro caso.

5. La falta de previsión de los promotores del polígono, al construir una red de saneamiento unitaria claramente insuficiente e incompleta.

Los efectos del agua fueron devastadores, sobre todo en la primera de las instalaciones, perteneciente a un concesionario de automóviles. El agua alcanzó 2,20 m de altura sobre el suelo de los talleres, arrastró todo tipo de piezas y recambios, inutilizó 150 vehículos y dejó gran cantidad de barro acumulado. Aunque el resto de las instalaciones del polígono sufrieron desperfectos similares, las inundaciones tuvieron una menor gravedad.

Ni siquiera la gravedad de los daños llegó a propiciar una actuación coordinada de las diferentes entidades responsables de la gestión del polígono. El Ayuntamiento de Montcada i Reixac mantuvo la postura de no llevar a cabo ninguna actuación hasta que el polígono industrial les fuera entregado.

La comisión gestora del polígono industrial, ante la insistencia de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos y a la vista de los trabajos de limpieza de las rieras realizado durante el verano de 1988, se comprometió a ensanchar los dos tubos de 80 cm durante el mes de agosto de 1988, aprovechando el período de cierre vacacional. Hay que señalar que en abril de 1989 esta obra todavía no había sido realizada.

La Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos ha sido la única administración en llevar a cabo diversas actuaciones en el polígono industrial del Can Cuyàs, a través del programa de limpieza de rieras propuesto en el estudio de las inundaciones ocurridas del 2 al 4 de octubre de 1987 (Mujeriego y cols. 1988b) y concretado posteriormente en una memoria valorada (Mujeriego y cols. 1988a). Estas actuaciones han consistido en: 1) la creación del margen derecho del torrente en la zona de entrada al polígono tras su paso bajo la carretera N-152, 2) la limpieza y desbroce del tramo del cauce que atraviesa el polígono de Can Cuyàs, y 3) la demolición de los dos tubos de 50 cm existentes, facilitando así la entrada del agua a la sección en cajón.

Durante las lluvias registradas el día 12 de noviembre de 1988, el polígono registró inundaciones de cuantía muy inferior a las sufridas en 1987. El comportamiento del encauzamiento del tramo superior fué excelente hasta el momento en que el agua desbordó por el hastial derecho debido a la acumulación provocada por su paso a través de los dos tubos de 80 cm, que actuaron a modo de presa. Pese a todo, el hastial derecho sólo fué superado por el agua en el punto de contacto con el muro de la primera de las instalaciones industriales, llegando a resistir incluso en la zona curva que fue lógicamente la que sufrió una gran erosión.

Todo parece indicar que, si se hubiese llevado a cabo la ampliación de los dos tubos de 80 cm, los caudales de escorrentía habrían circulado con normalidad por el cauce del Torrent Tapioles, evitándose así la inundación de las instalaciones colindantes.

2. El Prat de Llobregat

El núcleo urbano de El Prat de Llobregat se inundó casi en su totalidad durante las lluvias de noviembre de 1983, debido a la acusada insuficiencia de su red de drenaje, especialmente de las cuencas de la Bunyola y de la Aviación.

Esta insuficiencia en la red de drenaje del núcleo urbano venía provocando inundaciones durante episodios de lluvia de moderada intensidad e, incluso, de corta duración, como suele ser característico de las tormentas de verano.

Por otra parte, el desagüe final de ambas cuencas en el mar solía quedar totalmente obstruido en presencia de temporales de Levante. Esta obstrucción del desagüe es debida a la formación de una barra de arena en la desembocadura de los cauces, a causa de la sedimentación de las arenas transportadas por el fuerte oleaje.

Durante el verano de 1986 se llevaron a cabo las siguientes obras:

1. Construcción de la primera fase del colector de la cuenca de Bunyola
2. Colocación de escollera en la desembocadura del canal de la Bunyola, con el doble fin de protegerla del oleaje y de permitir el acceso de maquinaria pesada para romper la barra de arena.

Por otra parte, en 1987 se inició la construcción de la segunda fase de los colectores de la cuenca de la Bunyola y de la primera fase de los de la cuenca de la Aviación.

Durante las lluvias de octubre de 1987 se inundó únicamente parte de la cuenca de la Aviación, debido fundamentalmente a que las obras de construcción iniciadas aquel verano no estaban todavía terminadas, representando además un serio obstáculo para la evacuación de las aguas. Por el contrario, la cuenca de la Bunyola, en la que la mayoría de conexiones ya estaban terminadas, no presentó ningún problema especial.

Por otra parte, mientras que el canal de la Bunyola desaguó con toda normalidad, el canal de la Aviación quedó totalmente obstruido, lo que propició que sus aguas inundaran una extensa zona agrícola que quedó anegada durante varios días por falta de desagüe.

Las obras de construcción de los colectores de las cuencas de la Bunyola y de la Aviación quedaron terminadas a mediados de 1988, lo que permitió que durante las lluvias de noviembre de ese mismo año el núcleo urbano de El Prat de Llobregat quedara libre de inundaciones, y pudiera comprobarse la capacidad de desagüe de la red de alcantarillado remodelada.

Los únicos puntos conflictivos que todavía no han sido solucionados son:

1. La cabecera de la cuenca de la Aviación, aguas arriba de la carretera C-246. La causa inmediata de estas inundaciones es la insuficiencia del colector que atraviesa dicha carretera, la factoría "La Seda de Barcelona" y la línea férrea Barcelona-Tarragona.
2. El desagüe al mar del canal de la Aviación. La falta de una protección de escollera permite que se forme una barra de arena y dificulta el acceso de maquinaria pesada para su rotura.
3. El punto de unión de los colectores de la cuenca de la Bunyola y de la cuenca de la Marina. La causa determinante de las inundaciones que se registran en esta zona es la falta de capacidad del canal de la Bunyola.

Hay que indicar por último que el acceso a El Prat de Llobregat desde la Autovía de Castelldefels quedó interrumpido al inundarse los dos pasos inferiores bajo los puentes de la propia Autovía y de la línea férrea Barcelona-Valencia.

Al igual que había ocurrido durante las inundaciones de octubre de 1982, las aguas del río escaparon por los conductos de desagüe de dichos pasos inferiores, inundándolos de agua y barro. Es evidente que mientras no se instalen dispositivos antirretorno en todos estos desagües y se mantengan en perfecto estado de funcionamiento, existe el riesgo real de que se vuelvan a producir inundaciones cada vez que las aguas del río alcancen niveles moderados.

3. Rieras Infanta II y del Terme

La riera Infanta II discurre por la calle Agricultura de Sant Feliu de Llobregat, ubicada en pleno polígono industrial del Plà del Llobregat. La riera cruza la carretera nacional N-II mediante un paso inferior que ha permanecido aterrado hasta los trabajos de limpieza realizados en agosto de 1988. La riera del Terme discurre por la calle Comercio, en dirección paralela a la riera Infanta II, y tiene características muy similares a la anterior.

Durante el episodio de lluvias de noviembre de 1983, las aguas desbordaron el cauce de la riera de Infanta II debido a la falta de un cauce bien delimitado. Como consecuencia de las inundaciones y de los arrastres depositados, la carretera N-II quedó cortada a la circulación. La situación que se produjo en la riera del Terme fue muy similar a la de la riera Infanta II, con el agravante de que diversas fábricas quedaron inundadas de agua y barro.

Ni en la riera de Infanta II ni en la riera del Terme se han llevado a cabo obras de encauzamiento o de limpieza durante los 4 años transcurridos entre este episodio de lluvias y el registrado en octubre de 1987.

Por el contrario, el cauce de la riera Infanta II fue interrumpido transversalmente mediante la construcción de un terraplén aguas abajo de la carretera N-II, lo que provocó la eliminación del cauce por completo. El objeto de este terraplén era mejorar el acceso a dos instalaciones industriales colindantes.

Durante las precipitaciones de octubre de 1987, las aguas desbordaron de nuevo las rieras de Infanta II y del Terme, interrumpiendo la circulación por la carretera N-II.

Durante el programa de limpieza de rieras efectuado en el verano de 1988, sólo se limpió el paso inferior de la riera Infanta II bajo la carretera N-II. No se efectuó ningún trabajo en la riera del Terme, considerando que su urbanización definitiva iba a realizarse en un futuro próximo.

Hay que señalar que la apertura total del cauce de la riera Infanta II no fue posible debido a la oposición de un propietario al que la riera divide su finca en dos partes. Mediante actuaciones progresivas de supresión del cauce de la riera, este propietario pretende ganar terreno y unificar sus dos porciones de terreno. Como cauce alternativo de la riera, este propietario ha instalado un tramo aproximado de 6 m de tubería de 50 cm de diámetro que, cruzando bajo el camino de acceso a la finca, trata de desviar las aguas hacia los límites de su propiedad (ficha 1305).

Durante las intensas lluvias registradas el día 12 de noviembre de 1988, la carretera N-II quedó de nuevo cortada al tráfico, por insuficiente capacidad de desagüe de las rieras. Las causas determinantes de esta situación fueron la supresión del cauce de la riera del Terme y la dificultad de desagüe provocada en la riera Infanta II por el tubo mencionado anteriormente. Pese a todo, la riera Infanta II se comportó mejor que en 1987, cuando el cauce de la riera había sido suprimido por el terraplén. La riera Infanta II acabó desaguando los caudales provinientes de la cuenca vertiente de la riera del Terme. Como resultado de todo ello, el paso inferior de la carretera N-II quedó aterrado nuevamente.

Los trabajos de limpieza del cauce de la riera realizados durante el verano de 1988 tuvieron efectos favorables, aunque el desagüe de la riera Infanta II podría mejorarse todavía más mediante la apertura definitiva de su cauce natural hasta llegar al canal de desagüe paralelo a la autopista A-2.

Así mismo, sería de gran interés realizar la limpieza de la riera del Terme, lo que permitiría aumentar provisionalmente su capacidad hidráulica hasta su desembocadura en el canal de desagüe.

4. Riera de Torrelles

La riera de Torrelles (ficha 1504) está situada en el término municipal de Sant Vicenç dels Horts, a la salida del núcleo urbano en dirección a Sant Boi de Llobregat.

Su cuenca vertiente es de 2156 ha, y es por tanto una de las rieras más importantes de todo el Área Metropolitana de Barcelona. El agua circula por su cauce durante todo el año, incluso durante los meses de verano. Esta característica sólo es compartida en toda la zona baja del río Llobregat por la riera de Cervelló, ubicada también en Sant Vicenç dels Horts.

La riera de Torrelles desemboca en el río Llobregat, a pocos metros del azud de toma de agua para el Canal de la Margen Derecha, y aguas arriba del mismo, es decir en una zona en la que la altura del agua del río Llobregat es superior a la normal y, por el contrario, su velocidad escasa.

Esta "barrera hidráulica" disminuye enormemente la velocidad de las partículas sólidas arrastradas por la riera de Torrelles durante sus avenidas, por lo que gran parte de éstas sedimentan, llegando a formar una barra que obstruye seriamente el desagüe de la riera.

La solución de este problema no es fácil, ya que las modificaciones que se pueden hacer en el trazado de la parte final de la riera de Torrelles están muy limitadas por la existencia del azud y las obras de toma de agua del Canal de la Margen Derecha.

Un modo de aliviar los efectos de esta "barrera hidráulica" puede ser:

1. Curvar la desembocadura de la riera tanto como permita el azud, suavizando así el ángulo de choque entre las dos corrientes de agua.
2. Dragar la desembocadura de la riera, por lo menos dos veces al año, a finales de verano y a finales de invierno, con el fin de aumentar la capacidad de desagüe del cauce.

La solución definitiva a este problema consistiría en modificar la toma de agua del Canal de la Margen Derecha, de modo que disminuyera la cota de desagüe de la riera de Torrelles. Esta solución implicaría muy posiblemente la construcción de una estación de bombeo que impulsara las aguas desde el río Llobregat hasta el Canal de la Margen Derecha.

5. Sant Vicenç dels Horts

Sant Vicenç dels Horts está situado entre las montañas de la Cordillera Litoral y el río Llobregat, flanqueado por las rieras de Cervelló y de Torrelles.

Entre el núcleo urbano y el río Llobregat, y paralela a este último, discurre la carretera BV-2002, de Sant Vicenç dels Horts a Sant Boi de Llobregat, cuyo pavimento se encuentra a una cota entre 0,5 y 1 m por encima de la zona adyacente del núcleo urbano.

El número de pasos de agua que cruzan esta carretera es reducido, y su capacidad de desagüe escasa, por lo que, en episodios de lluvia de incluso moderada intensidad, el agua se acumula aguas arriba de la carretera BV-2002, en las zonas bajas del núcleo urbano, hasta alcanzar la cota del pavimento de la citada carretera.

La llegada de las aguas de escorrentía a estas zonas bajas del núcleo urbano se produce de un modo muy rápido, debido a las propiedades urbanísticas de la población, que son:

1. La zona urbana ha ido creciendo hacia la montaña, ocupando los pequeños valles que forman las numerosas rieras de la zona.
2. La ocupación de estos valles se ha realizado penetrando por los cauces de las propias rieras que, en la mayoría de los casos se han recrecido y asfaltado.
3. En el proceso de urbanización no se han tenido en cuenta las aguas de escorrentía y no se han previsto desvíos alternativos a los cauces ocupados, ni redes de drenaje apropiadas.

Como consecuencia de estas actuaciones urbanísticas tan inadecuadas, el agua de escorrentía discurre a gran velocidad por la superficie de las calles que ocupan los cauces, hasta alcanzar las zonas bajas de la población, donde se acumula debido a la insuficiencia de desagües.

El último punto conflictivo del sistema de drenaje de Sant Vicenç dels Horts lo constituye la localización de sus vertidos finales. Una pequeña parte del núcleo urbano, situada en la parte alta y cercana a la riera de Cervelló,

vierte las aguas de escorrentía a esta riera. La mayor parte del núcleo urbano de Sant Vicenç dels Horts desagua al río Llobregat, bien directamente, o bien en la desembocadura de la riera de Torrelles, mediante el aliviadero del Desagüe General de Sant Vicenç dels Horts.

El tramo del río Llobregat comprendido entre la riera de Cervelló y la riera de Torrelles tiene una pendiente escasa y la cota del agua es prácticamente constante. Esto es debido a la existencia de un azud en las inmediaciones de la riera de Torrelles y aguas abajo de la misma, que sirve para tomar las aguas que alimentan el Canal de la Margen Derecha del río Llobregat.

La altura de agua impuesta por el azud impide que los desagües de Sant Vicenç dels Horts tengan un desnivel suficiente para salvar los 600 m que separan la carretera BV-2002 del río Llobregat. Esto hace que el caudal de aguas de escorrentía que llega a la zona baja del núcleo urbano sea superior a su capacidad de desagüe y, como resultado, se produzcan inundaciones con una frecuencia excesiva.

6. Sant Boi de Llobregat

El municipio de Sant Boi de Llobregat tiene dos zonas perfectamente diferenciadas en cuanto al desagüe de sus aguas de escorrentía.

La zona norte del municipio vierte al río Llobregat a través de los cauces de las rieras Basté y Gasulla, que en su tramo final se unen en una sola riera, la riera Bertrán. Esta riera desemboca en el río Llobregat tras atravesar sucesivamente la carretera BV-2002 de Sant Vicenç dels Horts a Sant Boi de Llobregat, el canal de la margen derecha del Llobregat y la línea de los Ferrocarriles de la Generalitat de Barcelona a Martorell. El resto del núcleo urbano vierte al Delta del Llobregat, a través de una serie de rieras (Roja, Fonollar, Torrentet), cuyo cauce se pierde antes de llegar al mar.

Las cuencas vertientes de las rieras de la zona norte del municipio han sido urbanizadas progresivamente, de modo que el coeficiente de escorrentía ha aumentado de forma notable en los últimos 15 años. Por otra parte, la capacidad de los cauces ha ido disminuyendo debido a la acumulación de arrastres propios de las grandes avenidas, y al vertido continuo de escombros y basuras.

La consecuencia lógica de todas estas circunstancias ha sido el deterioro progresivo de la capacidad de desagüe de la zona y, por tanto, la inundación, cada vez más frecuente, de extensas zonas del núcleo urbano cercanas a los cauces de las rieras Basté, Gasulla y Bertrán, cuando se registran lluvias de moderada intensidad.

Esta situación empeoró considerablemente durante las obras de encauzamiento de las rieras Basté y Gasulla. Las obras se empezaron a la entrada del núcleo urbano y fueron avanzando hacia aguas abajo. Durante las lluvias de noviembre de 1988, las aguas de escorrentía de las cuencas de estas rieras se concentraron rápidamente en la zona baja del núcleo urbano, donde las obras no estaban todavía acabadas, lo que provocó inundaciones de gran magnitud, hasta el extremo de propiciar el derrumbamiento de un edificio de viviendas, debido a la erosión producida en sus cimientos.

Las obras de encauzamiento de las rieras Basté, Gasulla y Bertrán deben finalizar durante el invierno de 1989, por lo que es de esperar que los problemas causados hasta ahora por las inundaciones en esta zona del núcleo urbano de Sant Boi de Llobregat disminuirán de forma notable en el futuro.

7. Canal de la Margen Derecha del Llobregat

Uno de los objetivos principales del canal de la margen derecha del río Llobregat es facilitar el riego de la zona agrícola situada entre la margen derecha del río y la carretera BV-2002.

El canal empieza en un azud del río Llobregat, situado inmediatamente aguas abajo de la riera Torrelles, y termina en la zona amplia del delta del Llobregat, después de atravesar el núcleo urbano de Sant Boi de Llobregat.

Teniendo en cuenta que el sistema de explotación tradicional de las aguas de riego requiere que éstas puedan verter por gravedad desde el canal, la cota de su solera se estableció originalmente por encima a la de los campos agrícolas colindantes. No obstante, la topografía característica de la zona llevó a los proyectistas del canal a situar su solera por debajo de los cauces de las rieras Mallorquines, Julià, Lluc, Solé y Bertrán con las que el canal se cruza a lo largo de su recorrido.

El cruce de estas rieras sobre el canal se realiza mediante puentes de mampostería, lo que impone una disminución apreciable de la pendiente natural de la riera y ocasiona una reducción de su capacidad de desagüe, aún manteniendo su sección transversal.

Esta reducción de la capacidad de desagüe de las rieras se ha agravado considerablemente en los últimos años debido a la acumulación progresiva de arrastres en sus cauces, especialmente en las proximidades de su cruce con el canal de la margen derecha, donde la reducción de pendiente provoca la sedimentación de los arrastres producidos por las aguas de escorrentía en las zonas de mayor pendiente.

La solución de las inundaciones causadas por la insuficiente capacidad de desagüe de todas las rieras que se cruzan con el canal de la margen derecha no es fácil y requerirá un estudio detallado de las cotas, desniveles y caudales circulantes por cada una de ellas, a fin de evaluar las posibilidades prácticas de recuperar el cauce natural de las rieras, situándolo por debajo del canal, y de dotarlo de una sección suficiente como para asegurar el desagüe de las aguas de escorrentía generadas en la zona.

ANALISIS DE OBRAS DE CANALIZACION

Entre las obras de canalización de rieras o de construcción de colectores unitarios llevadas a cabo desde 1984 por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos se han estudiado detalladamente las siguientes:

1. El colector de Prim, 1ª y 2ª fase, en Barcelona.
2. Los colectores de la Aviación y la Bunyola, en El Prat de Llobregat.
3. La riera Fonda, en Pallejà.
4. Las Rieras Basté y Gasulla, en Sant Boi de Llobregat.
5. El colector de Ponent, en Badalona.
6. El colector Famades, en l'Hospitalet de Llobregat.
7. La Riera de la Font o Escorxador, en Sant Feliu de Llobregat.

El análisis detallado de cada una de estas obras se ha resumido en los formularios que aparecen a continuación, en los que se indica: 1) el comportamiento de las obras durante las inundaciones de 1983 y 1987, 2) las modificaciones realizadas entre 1983 y 1987, 3) el comportamiento de las obras durante las lluvias de 1987, 4) las modificaciones realizadas entre 1987 y 1988, 5) el comportamiento de las obras durante las lluvias de noviembre de 1988, y 6) una valoración de la eficacia de las obras efectuadas, así como una indicación de las medidas que cabría adoptar para mejorar o asegurar el desagüe en episodios de intensas lluvias.

ANALISIS DE LAS OBRAS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera o colector: Prim

CODIGO: 104

Nombre del Municipio: Barcelona

1. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1983

Las inundaciones en la calle Prim, en las cercanías de la calle Pere IV, eran frecuentes, no solo en el caso de fuertes lluvias, sino también en episodios de lluvias de moderada intensidad.

2. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1983 Y 1987

En 1985 se construyó un tercer colector, con capacidad para 50 m³/s, que sumado a los dos existentes, cuya capacidad es de 35 m³/s, proporcionan un sistema de drenaje suficiente para lluvias de período de retorno superior a 10 años.

3. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE OCTUBRE DE 1987

Satisfactorio.

4. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1987 Y 1988

Ninguna.

5. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1988

Satisfactorio.

6. COMENTARIOS GENERALES

Desde la terminación de las obras de construcción del tercer colector de la calle Prim no se han vuelto a producir inundaciones en la zona.

ANALISIS DE LAS OBRAS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera o colector: Bunyola y Aviación

CODIGO: 1001

Nombre del Municipio: El Prat de Llobregat

1. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1983

El núcleo urbano se inundó casi en su totalidad debido a la acusada insuficiencia de su red de drenaje. Los desagües al mar de ambas cuencas quedaron obstruidos por la barra de arena formada durante el temporal de Levante.

2. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1983 Y 1987

1986 Construcción de la primera fase del colector de la cuenca de la Bunyola, incluyendo escollera de protección del desagüe al mar.

1987 Comienzan las obras de la segunda fase del colector de la cuenca de la Bunyola y de la primera del de la Aviación.

3. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE OCTUBRE DE 1987

Inundación de la cuenca de la Aviación por encontrarse el colector en remodelación y por estar obstruido el desagüe al mar.

4. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1987 Y 1988

1988 Finalización de las obras en las cuencas de la Bunyola y de la Aviación. Quedan pendientes 3 obras: 1) Cruce del colector de la Aviación con la Autovía de Castelldefels, 2) desagüe al mar del canal de la Aviación, y 3) canal de la Bunyola.

5. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1988

Las dos cuencas desaguan normalmente, con pequeños problemas al principio del canal de la Bunyola. La cuenca de la Aviación, aguas arriba de la Autovía de Castelldefels, se inunda por insuficiencia del colector.

6. COMENTARIOS GENERALES

Es necesario terminar la remodelación del colector de la Aviación en su cabecera y proteger con escollera su desagüe final al mar. Es conveniente ampliar el canal de tierra de la Bunyola.

ANALISIS DE LAS OBRAS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera o colector: Fonda

CODIGO: 803

Nombre del Municipio: Pajellà

1. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1983

La acumulación de arrastres a la entrada del paso de la riera bajo la carretera nacional N-II impidió la libre circulación del agua por éste, provocando la inundación de la carretera y de las viviendas próximas de Cementos Molins.

2. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1983 Y 1987

En 1986 se encauzó el tramo de la riera comprendido entre la carretera nacional N-II y el río Llobregat mediante un cajón de 3,5 m² de sección en la zona industrial y un canal de 3 m de ancho en solera en la zona agrícola.

3. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE OCTUBRE DE 1987

Satisfactorio.

4. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1987 Y 1988

Ninguna.

5. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1988

Satisfactorio.

6. COMENTARIOS GENERALES

Desde la terminación de las obras de encauzamiento, la riera no ha vuelto a provocar inundaciones en esta zona.

ANALISIS DE LAS OBRAS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera o colector: Basté y Gasulla

CODIGO: 1101

Nombre del Municipio: Sant Boi de Llobregat (1105, 1106)

1. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1983

El nivel del agua superó la cota de la carretera BV-2002, inundando la Rambla y otras calles adyacentes.

2. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1983 Y 1987

Se encauzaron los tramos superiores de ambas rieras, por lo que el agua circula a mayor velocidad en estas zonas.

3. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE OCTUBRE DE 1987

El nivel del agua superó la cota de la carretera BV-2002, inundando la Rambla y otras calles adyacentes. Así mismo, se inundó una extensa zona del núcleo urbano por rotura de un muro de protección de la riera Bertrán, cerca de la calle Cervantes.

4. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1987 Y 1988

Prosigue el encauzamiento de las rieras, desde arriba y hacia la desembocadura, y se reconstruye la desembocadura de la riera Bertrán al río Llobregat.

5. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1988

Las obras de encauzamiento no están terminadas, con lo que se acumula gran cantidad de agua en la zona intermedia de la riera Bertrán, ocasionando graves inundaciones en el núcleo urbano de Sant Boi de Llobregat.

6. COMENTARIOS GENERALES

A finales de 1989 deben estar terminadas las obras de encauzamiento por lo que es de esperar que los problemas disminuyan radicalmente. Es necesario mantener y, aumentar si es posible, la capacidad de los dispositivos de retención de arrastres en cabecera.

ANALISIS DE LAS OBRAS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera o colector: Ponent

CODIGO:

Nombre del Municipio: Badalona

1. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1983

Inundación de la zona baja del núcleo urbano de Badalona, próxima a la costa.

2. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1983 Y 1987

1986 Finalización de las obras de construcción del colector o interceptor de Ponent.

3. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE OCTUBRE DE 1987

Continúan registrándose inundaciones en la zona baja del núcleo urbano.

4. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1987 Y 1988

Ninguna

5. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1988

Se repiten las inundaciones de la zona del caso urbano próxima a la costa.

6. COMENTARIOS GENERALES

Los Servicios Técnicos del Ayuntamiento de Badalona manifiestan que el riesgo de inundaciones no ha disminuido. El funcionamiento de los aliviaderos mejorará tras la limpieza de la arena acumulada desde el año 1986.

ANALISIS DE LAS OBRAS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera o colector: Famades

CODIGO:

Nombre del Municipio: Hospitalet de Llobregat

1. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1983

Se inundó la zona de Cornellá colindante con Hospitalet de Llobregat, así como la zona donde se encuentran ubicados los polígonos industriales Famades Este y Carretera del Mig, en Hospitalet de Llobregat.

2. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1983 Y 1987

1987 Se construye el tramo de colector que discurre desde el cruce de las calles Cobalto y Arquímedes hasta la Carretera de Nuestra Señora de Bellvitge.

3. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE OCTUBRE DE 1987

Satisfactorio.

4. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1987 Y 1988

Ninguna.

5. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1988

Satisfactorio.

6. COMENTARIOS GENERALES

Desde la construcción del colector Famades no se han vuelto a producir inundaciones generalizadas en la zona.

ANALISIS DE LAS OBRAS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera o colector: Escorxador

CODIGO: 1303

Nombre del Municipio: Sant Feliu de Llobregat

1. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1983

La urbanización de un tramo del cauce y la ausencia de conducciones alternativas obligó al agua a circular por la superficie de la calle Lorenzo Martí, inundando numerosos sótanos, garajes, plantas bajas y viviendas.

2. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1983 Y 1987

1986 Se inicia la construcción de un colector que desde la entrada de la riera al núcleo urbano desvíe las aguas a las rieras colindantes.

3. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE OCTUBRE DE 1987

La embocadura del colector quedó parcialmente aterrada, se inundaron diversas industrias y talleres situados en las cercanías de la embocadura, y la zona baja de la riera desbordó al no estar debidamente canalizada.

4. MODIFICACIONES REALIZADAS ENTRE 1987 Y 1988

1988 Se refuerzan los márgenes de tierra, aguas arriba de la entrada de la riera al núcleo urbano, y se amplía su cauce.

5. COMPORTAMIENTO DURANTE LAS LLUVIAS DE NOVIEMBRE DE 1988

Se aterró completamente la embocadura del colector, y la riera desbordó en su tramo inferior al no disponer de imbornales para su evacuación.

6. COMENTARIOS GENERALES

Se debería ampliar la embocadura del colector, disponiendo un dispositivo de retención de arrastres. Se debería proporcionar un cauce alternativo a la riera en el tramo inferior. Además, debería eliminarse la contrapendiente de la desembocadura.

ANALISIS DE PROYECTOS DE CANALIZACION DE RIERAS

INTRODUCCION

Las inundaciones causadas por el desbordamiento de las rieras del Area Metropolitana de Barcelona durante los episodios de intensas lluvias registrados en 1982 y 1983 propició la redacción de los proyectos de canalización de varias de ellas.

La repetición de este tipo de episodios durante los años 1987 y 1988 hizo que la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos se planteara el interés de evaluar el grado de protección que esas obras de canalización pueden ofrecer ante la eventual repetición de unas lluvias como las registradas en estas 4 ocasiones durante los últimos 6 años.

Entre los proyectos redactados por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos durante los últimos años se han seleccionado los correspondientes a: 1) la canalización de las rieras de Sant Climent y de Sant Llorenç, 2) el colector de la calle Sagunto, en Badalona, 3) el colector de la riera de las Parets, en Gavà, 4) el estudio de las cuencas laterales del río Llobregat, en especial las rieras de Torrelles y de Cervelló.

El criterio utilizado para evaluar la protección que ofrecen las obras de canalización propuestas ha consistido esencialmente en comparar el período de retorno adoptado en el proyecto de canalización con el período de retorno correspondiente a cada uno de los 4 episodios de lluvia registrados durante los últimos 6 años. Las posibles diferencias entre los períodos de retorno adoptados y los estimados para esas lluvias han permitido valorar el riesgo de que pudieran producirse nuevos desbordamientos una vez ejecutadas las obras de canalización propuestas.

ESTIMACION DEL PERIODO DE RETORNO

Los períodos de retorno de las lluvias registradas en el Area Metropolitana de Barcelona durante noviembre de 1982, noviembre de 1983, octubre de 1987 y noviembre de 1988 se han obtenido siguiendo el método adoptado en el estudio de remodelación de la red de colectores principales de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986).

La descripción detallada de los conceptos e hipótesis consideradas normalmente en la determinación del período de retorno de una lluvia de determinada intensidad excede los límites de un estudio como el que nos ocupa. No obstante, en los apartados siguientes se resumen brevemente el proceso y las fuentes de información utilizados para la estimación de los

períodos de retorno de las lluvias registradas durante los 4 episodios antes mencionados.

Fórmula de Cálculo

La fórmula adoptada para calcular la cantidad total de lluvia, en función de su duración y de su período de retorno, ha sido la obtenida por Pou (1984) a partir de las lluvias registradas en la ciudad de Barcelona desde 1918 a 1982. La expresión propuesta por Pou es la siguiente:

$$R(t,T) = \frac{33 t}{60 (t+9,9)^{0,818}} \left[28,6 - \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) / 0,0953 \right] \left[1 + 0,00097 \frac{t}{60 - 1} \frac{t}{60 - 27} \right]$$

Donde:

t = duración de la lluvia, en minutos.

T = período de retorno de la lluvia, en años.

R(t,T) = precipitación acumulada al cabo de un tiempo t, durante una lluvia de T años de período de retorno.

Los valores de la precipitación total recogida en los diversos puntos del Area Metropolitana de Barcelona se han obtenido multiplicando los valores obtenidos mediante la fórmula anterior por un coeficiente de localización geográfica. El concepto y valor numérico de este coeficiente de localización han sido obtenidos del "Anteproyecto de saneamiento del delta del Llobregat (margen derecha)" elaborado por Pantecnia (1969). Los valores del coeficiente de localización elaborados a partir de ese estudio permiten considerar, como hipótesis suficientemente aproximada, que este factor de localización no depende del período de retorno considerado. En consecuencia, las estimaciones realizadas en este estudio han supuesto que el factor de localización de las cuencas vertientes de las diversas rieras son valores constantes característicos de cada una de ellas.

Precipitaciones Registradas

La Tabla 11 resume las características principales de las precipitaciones registradas durante los 4 episodios de lluvia ocurridos entre 1982 y 1988.

Por otra parte, la Tabla 12 ofrece un resumen de las precipitaciones registradas, experimentalmente o mediante interpolación en los correspondientes mapas pluviométricos, en las cuencas vertientes de las rieras cuyos proyectos de canalización se trata de analizar.

Tabla 11. Características principales de las lluvias registradas en el Area Metropolitana de Barcelona durante los episodios de lluvia ocurridos entre los años 1982 y 1988.

Fecha	Observatorio	Duración horas	Hora de inicio aproximada
8 noviembre 1982	Manresa	12	6.00
7 a 8 noviembre 1983	Barcelona	8	5.00
4 a 5 octubre 1987	C/ Roura, Barcelona	20	10.00
12 noviembre 1988	St. Coloma, St. Adriá	14	6.00

Tabla 12. Información disponible sobre las precipitaciones registradas en zonas próximas a las de ubicación de las obras de canalización proyectadas por la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos.

Municipio	Riera	Precipitaciones totales, mm			
		1982 en 24 h	1983 en 24 h	1987 en 48 h	1988 en 24 h
Viladecans	St. Climent	<20 (I)	170 (I)	300 (I)	170 (I)
Gavà	St. Llorenç	<20 (I)	160 (I)	270 (I)	170 (I)
Badalona	Sagunto	30 (I)	100 (I)	219 (R)	200 (I)
Gavà	Parets	<20 (I)	150 (I)	270 (I)	160 (R)
St. Vicenç dels Horts	Torrelles	30 (I)	150 (I)	160 (I)	170 (I)
St. Vicenç dels Horts	Cervelló	35 (I)	140 (I)	150 (I)	140 (I)

(R) Valores registrados experimentalmente.

(I) Valores interpolados a partir de los planos del Anexo 2.

Como puede observarse en las Tablas 11 y 12, los 4 episodios de intensas precipitaciones se iniciaron a primeras horas de la mañana, prolongándose entre 12 y 20 horas. Aunque las precipitaciones registradas durante los días 2 al 4 de octubre de 1987 se prolongaron durante 48 horas, los pluviogramas correspondientes permiten observar un episodio de lluvia característico que iniciándose a las 7.00 horas del día 2 de octubre se prolongó durante 20 horas hasta las 3.00 horas del día 3 de octubre, y durante el cual se recogió un 70% de la lluvia total registrada en esos dos días. Este episodio ha sido el considerado para la determinación del período de retorno de las lluvias registradas en esa ocasión.

Períodos de Retorno

La Tabla 13 resume los períodos de retorno estimados para las lluvias registradas en las cuencas vertientes de las rieras consideradas. Estos valores han sido estimados introduciendo los valores característicos de las precipitaciones ocurridas en cada cuenca vertiente en la fórmula propuesta por Pou (1984) que se ha analizado anteriormente.

ANALISIS DE LOS PROYECTOS DE CANALIZACION

Las características más importantes de los proyectos de canalización considerados en este estudio han sido obtenidos a partir de los proyectos facilitados por los Servicios Técnicos de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos y de la Empresa Metropolitana de Saneamiento.

Esta información, junto con los períodos de retorno estimados en el apartado anterior, han sido recopilados mediante una ficha resumen como la que aparece en las siguientes páginas, en las que figuran:

1. Nombre de la riera, municipio por el que discurre, y código, si coincide con alguno de los de las fichas de las inundaciones que aparecen en el Anexo 4.
2. Datos característicos del proyecto: 1) año en que se redactó, 2) período de retorno y lluvia de diseño utilizados, 3) presupuesto total, tomando un 16% de gastos generales y un 6% de beneficio industrial, y 4) tramos que comprende.
3. Las precipitaciones registradas en la zona de ubicación de las obras durante las lluvias ocurridas en los años 1982, 1983, 1987 y 1988. En los casos en los que no se disponía de un registro en la propia zona, se ha tomado un valor interpolado a partir de los planos del Anexo 2. Los valores de estas precipitaciones aparecen resumidos en la Tabla 12.

4. Los períodos de retorno estimados a partir de la fórmula de Pou (1984) y de los factores de localización geográfica establecidos a partir del estudio realizado por Pantecnia (1969). Los valores del período de retorno aparecen en la Tabla 13.

Tabla 13. Períodos de retorno estimados para las lluvias registradas en diversas cuencas vertientes del Área Metropolitana de Barcelona durante los episodios de lluvia ocurridos entre 1982 y 1988.

Riera o colector	Año	Lluvia en 24 h, mm	Duración de la lluvia, h	Período de retorno, años
Sant Climent	1982	< 20	12	< 1
Sant Climent	1983	170	8	780
Sant Climent	1987	210 (*)	20	1 000
Sant Climent	1988	170	14	430
Sant Llorenç	1982	< 20	12	< 1
Sant Llorenç	1983	160	8	460
Sant Llorenç	1987	189 (*)	20	420
Sant Llorenç	1988	170	14	430
Sagunto	1982	30	12	< 1
Sagunto	1983	50	8	< 2
Sagunto	1987	154 (*)	20	75
Sagunto	1988	200	14	1 535
Parets	1982	< 20	12	< 1
Parets	1983	150	8	270
Parets	1987	189 (*)	20	420
Parets	1988	160	14	260
Torrelles	1982	30	12	< 1
Torrelles	1983	150	8	950
Torrelles	1987	112 (*)	20	30
Torrelles	1988	170	14	1 640
Cervelló	1982	35	12	< 1
Cervelló	1983	140	8	510
Cervelló	1987	105 (*)	20	20
Cervelló	1988	140	14	290

(*) Se ha supuesto un episodio de lluvia de 20 horas, con una cantidad de agua recogida igual al 70% del total registrado durante los días 2 al 4 de octubre.

Las formularios de registro de datos que aparecen en las páginas 86 a 103 contienen los datos recopilados para cada uno de los proyectos analizados. Como puede observarse, estos formularios

constan de tres hojas. En la primera se recogen todos los datos mencionados, así como un breve comentario sobre el grado de validez de la lluvia de diseño considerada en el proyecto, y una sucinta estimación de los daños que podrían producirse durante un nuevo episodio de inundaciones, en caso de que no llegue a realizarse el proyecto de canalización. En la segunda y tercera hojas del formulario aparecen las lluvias de diseño recomendadas para el dimensionamiento de la canalización de cada una de las rieras, para períodos de retorno de 10 y 100 años, respectivamente.

ANALISIS DE LOS PROYECTOS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera: Sant Climent

CODIGO: 1801

Nombre del Municipio: Viladecans

1. DATOS DE PROYECTO

Año: 1984

Período de retorno: 100 años Lluvia: 162 mm

Presupuesto: 914.934.874,- ptas.

Tramos: Desde núcleo urbano hasta desembocadura en la
laguna del Remolar.

2. PRECIPITACIONES REGISTRADAS

1982: <20 mm en 12 horas en Interpolado

1983: 170 mm en 8 horas en Interpolado

1987: 210 mm en 20 horas en Interpolado

1988: 170 mm en 14 horas en Interpolado

3. PERIODOS DE RETORNO ESTIMADOS

1982: <1 años

1983: 780 años

1987: 1000 años

1988: 430 años

4. COMENTARIOS

La lluvia de proyecto de 162 mm corresponde a un período de retorno de 985 años, considerablemente superior al de 10 años considerado en el proyecto. No obstante, la apreciable aportación de aguas de retorno de riego podría justificar un cierto sobredimensionamiento de la canalización.

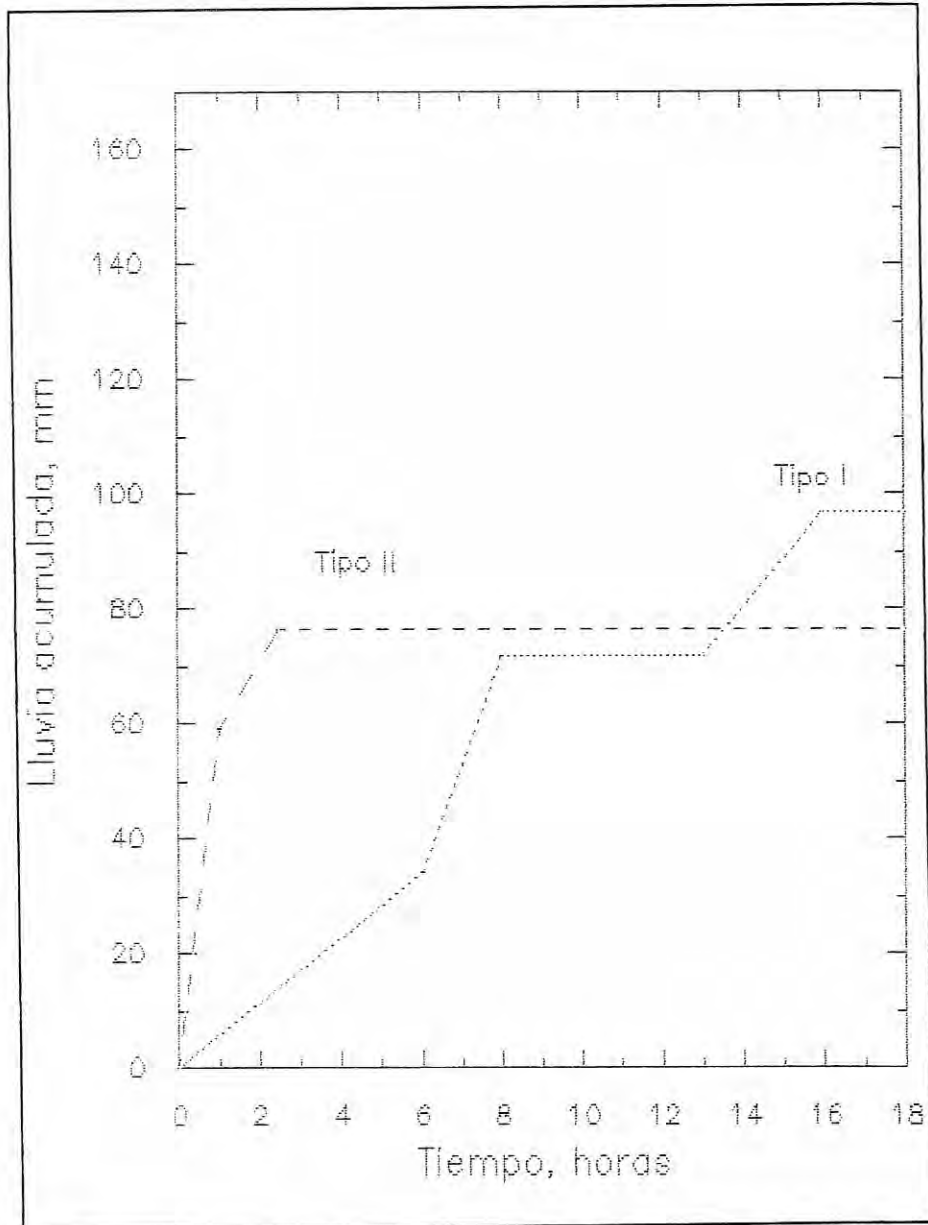
5. DAÑOS ESTIMADOS

Durante los períodos estudiados se han venido registrando inundaciones en las zonas urbanas y agrícolas.

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

RIERA DE SANT CLIMENT

Tiempo de concentración: 4 horas aproximadamente.



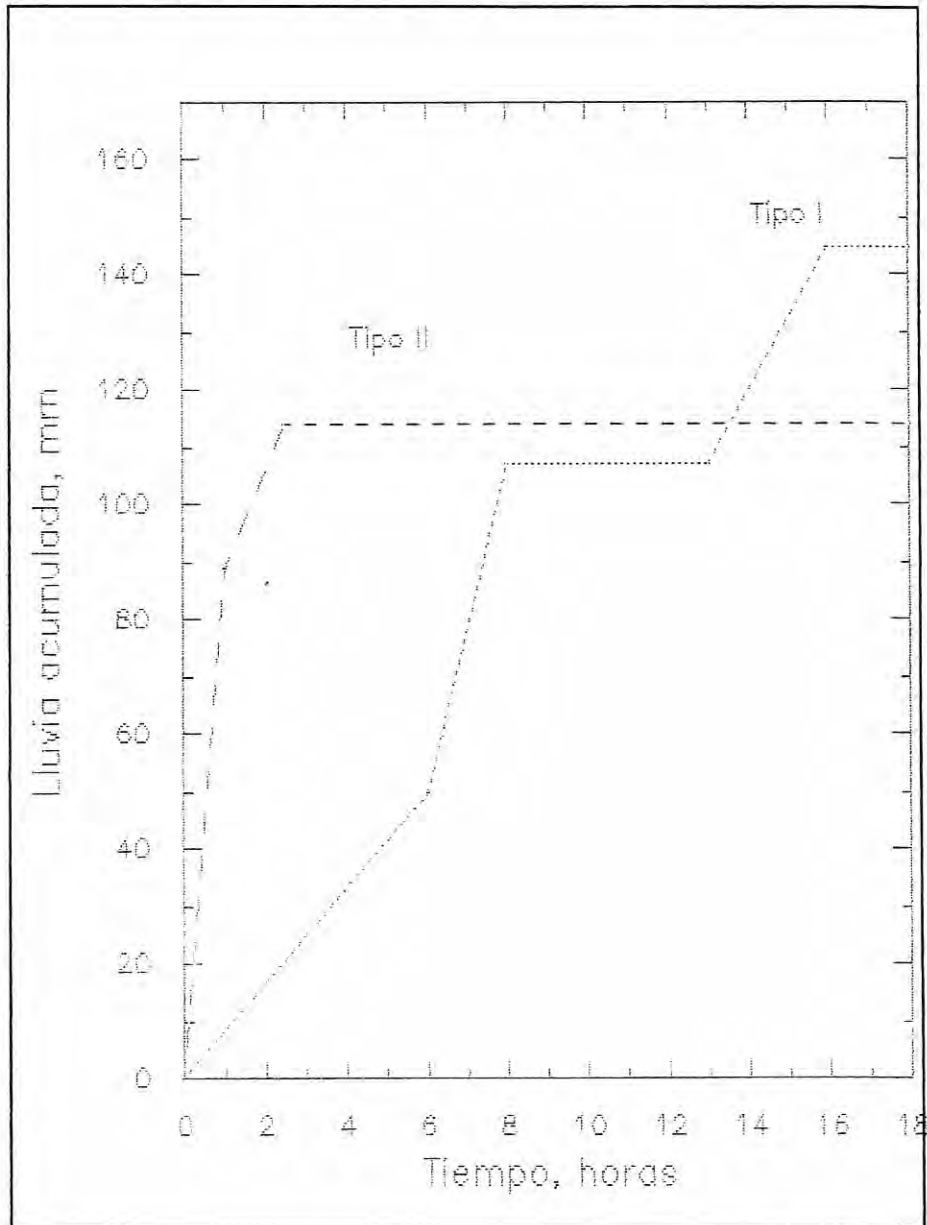
Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 10 años

En razón del tiempo de concentración de esta riera se recomienda la utilización de ambos tipos de lluvias para la evaluación preliminar de los caudales de escorrentía.

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

RIERA DE SANT CLIMENT

Tiempo de concentración: 4 horas aproximadamente.



Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 100 años

En razón del tiempo de concentración de esta riera se recomienda la utilización de ambos tipos de lluvias para la evaluación preliminar de los caudales de escorrentía.

ANALISIS DE LOS PROYECTOS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera: Sant Llorenç

CODIGO: 405

Nombre del Municipio: Gavà

1. DATOS DE PROYECTO

Año: 1984

Período de retorno: 100 años

Lluvia: 141,9 mm

Presupuesto: 161.365.254,- ptas

Tramos: Desde Les Preses hasta su desembocadura en la
riera de Sant Climent

2. PRECIPITACIONES REGISTRADAS

1982: <20 mm en 12 horas en Interpolado

1983: 160 mm en 8 horas en Interpolado

1987: 189 mm en 20 horas en Interpolado

1988: 170 mm en 14 horas en Interpolado

3. PERIODOS DE RETORNO ESTIMADOS

1982: <1 años

1983: 460 años

1987: 420 años

1988: 430 años

4. COMENTARIOS

La lluvia de proyecto de 141,9 mm corresponde a un período de retorno de 570 años, considerablemente superior al de 100 años considerado en el proyecto, y similar a los períodos de retorno de las lluvias de 1983, 1987 y 1988.

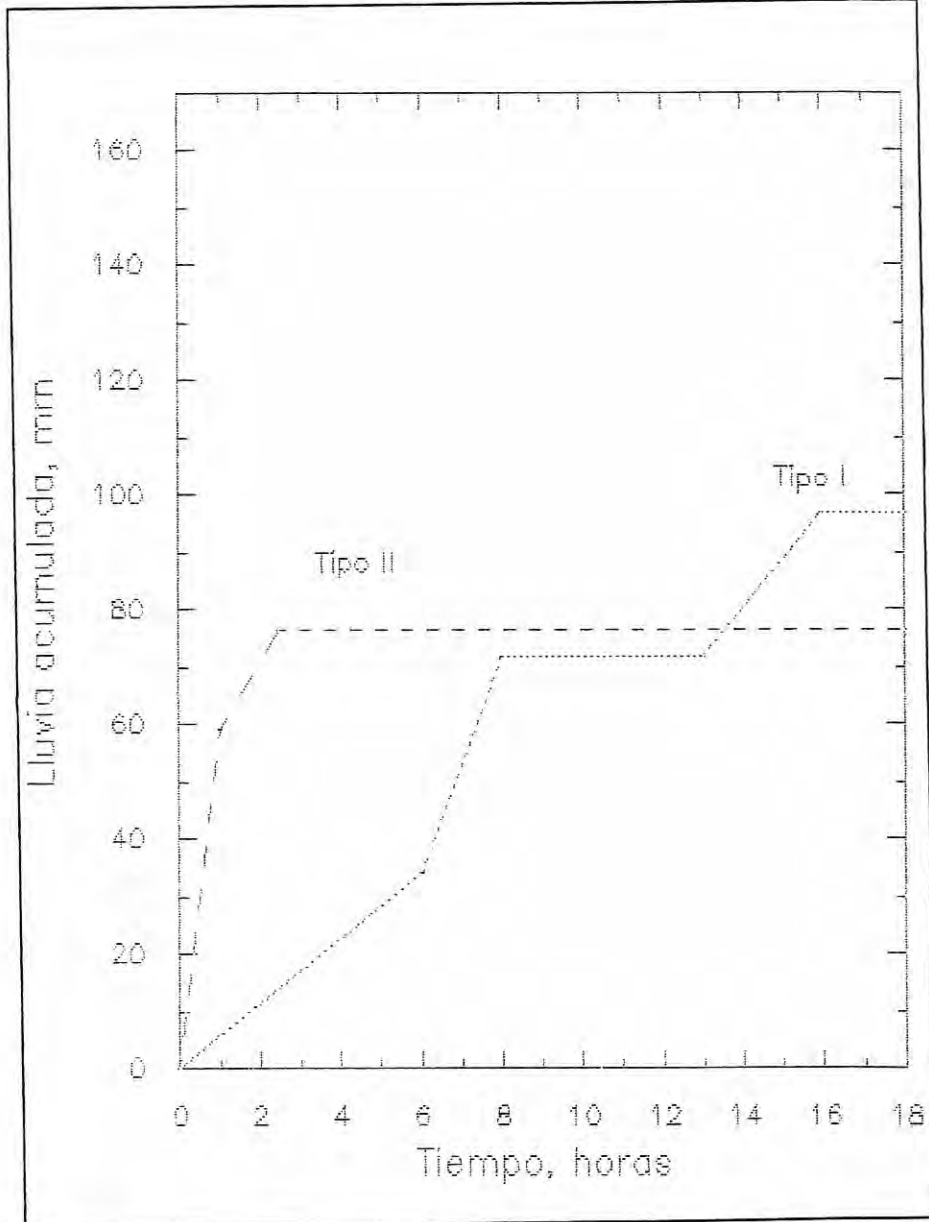
5. DAÑOS ESTIMADOS

Durante los períodos estudiados se han venido registrando inundaciones en las zonas urbanas y agrícolas.

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

RIERA DE SANT LLORENÇ

Tiempo de concentración: 2,5 horas aproximadamente.



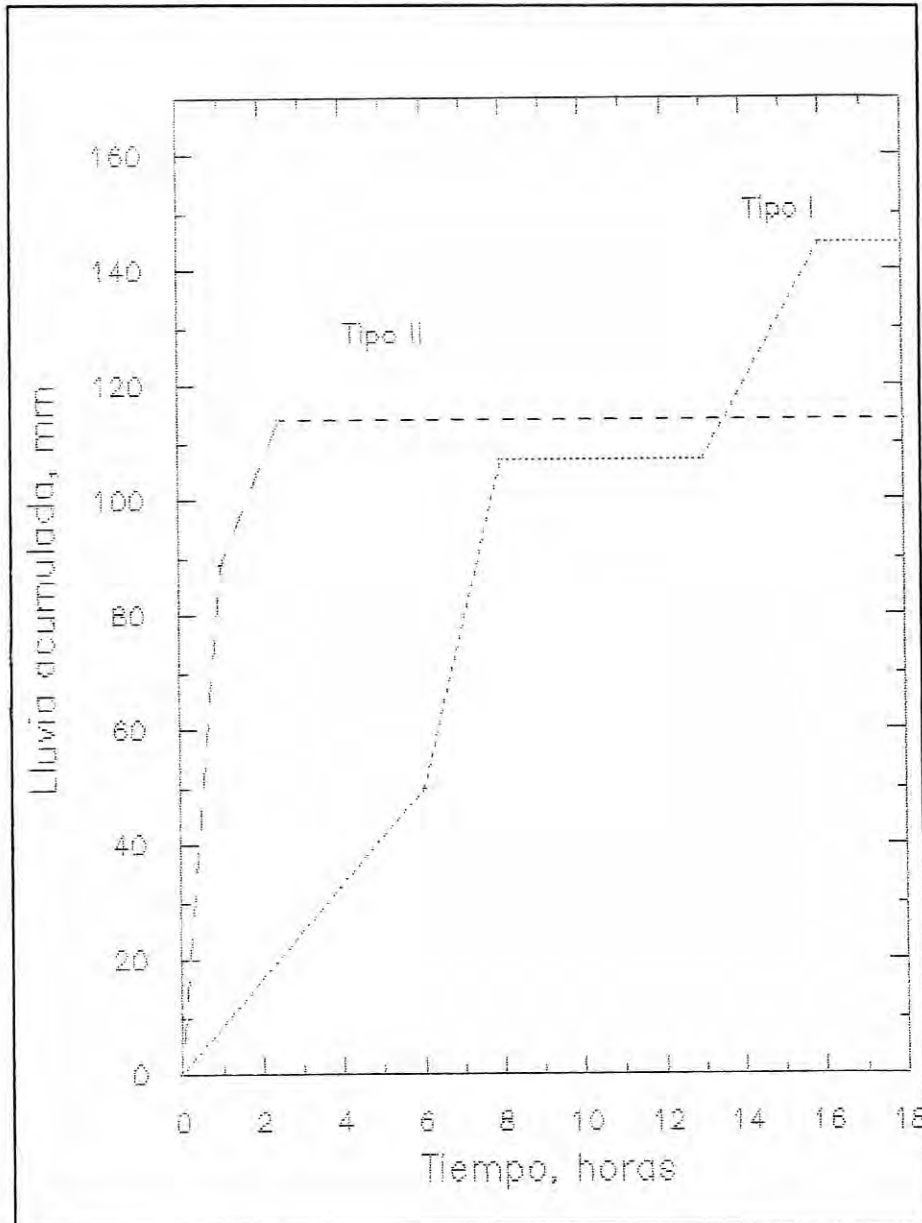
Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 10 años

En razón del tiempo de concentración de esta riera se recomienda la utilización de ambos tipos de lluvias para la evaluación preliminar de los caudales de escorrentía.

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

RIERA DE SANT LLORENÇ

Tiempo de concentración: 2,5 horas aproximadamente.



Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 100 años

En razón del tiempo de concentración de esta riera se recomienda la utilización de ambos tipos de lluvias para la evaluación preliminar de los caudales de escorrentía.

ANALISIS DE LOS PROYECTOS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera: Torrent d'en Valls (Sagunto)

CODIGO:

Nombre del Municipio: Badalona

1. DATOS DE PROYECTO

Año: 1988

Período de retorno: 50 años

Lluvia: 51,70 mm

Presupuesto: 657.437.982,- ptas.

Tramos: Desde la autopista A-19 hasta su desembocadura en el mar, pasando por las calles Canigó, Torrent d'en Valls, Països Catalans y María Auxiliadora.

2. PRECIPITACIONES REGISTRADAS

1982:	30 mm en 12 horas en	Interpolado
1983:	50 mm en 8 horas en	Interpolado
1987:	154 mm en 20 horas en	Registrado en Badalona
1988:	200 mm en 14 horas en	Interpolado

3. PERIODOS DE RETORNO ESTIMADOS

1982:	<1 años
1983:	<2 años
1987:	75 años
1988:	1535 años

4. COMENTARIOS

La lluvia de proyecto de 51,7 mm corresponde a un período de retorno de 40 años, ligeramente inferior al de 50 años considerado en el proyecto, y considerablemente inferior a los períodos de retorno de las lluvias de 1987 y 1988.

5. DAÑOS ESTIMADOS

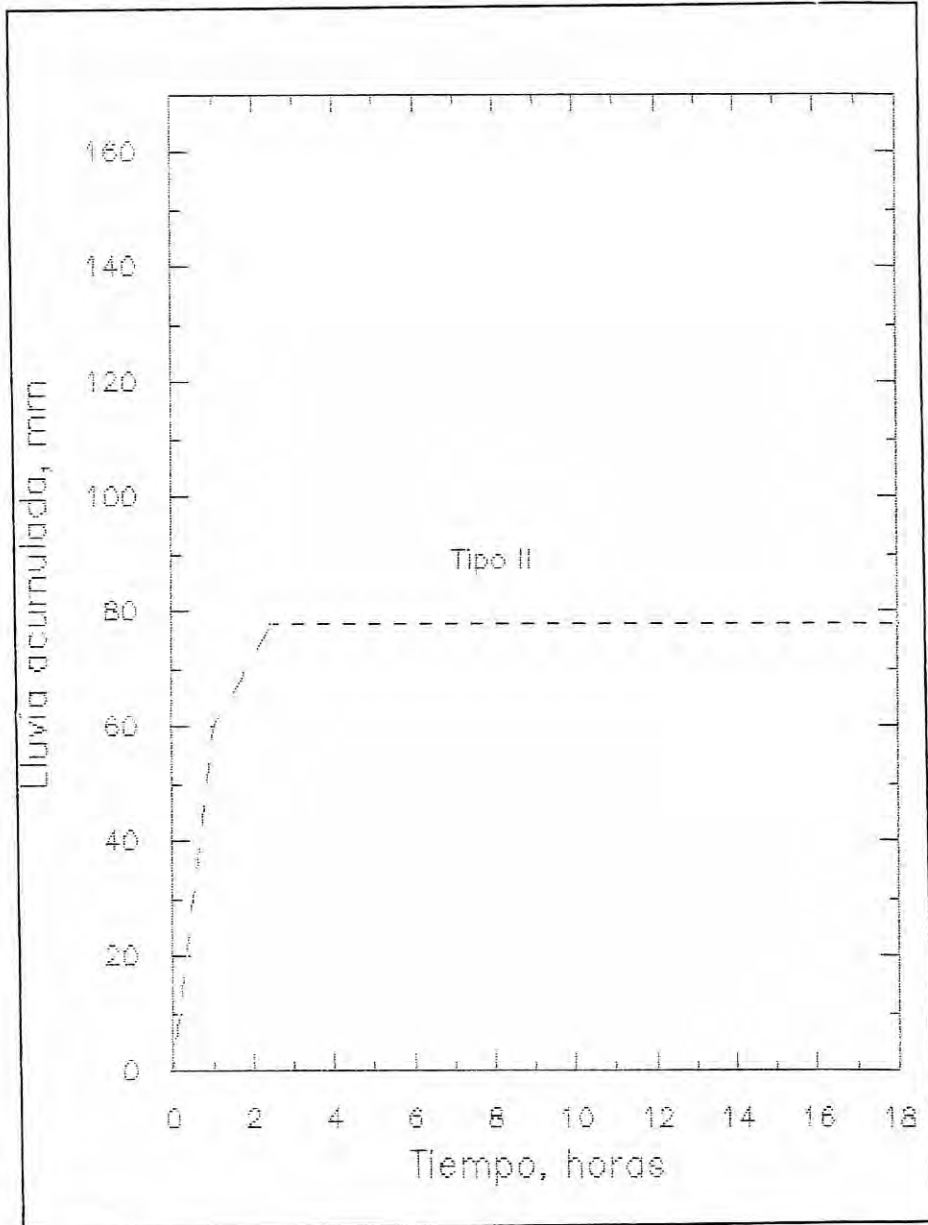
Durante los períodos estudiados se han venido registrando inundaciones en la zona urbana.

CODIGO:

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

COLECTOR DE SAGUNTO

Tiempo de concentración: 17 minutos aproximadamente.



Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 10 años

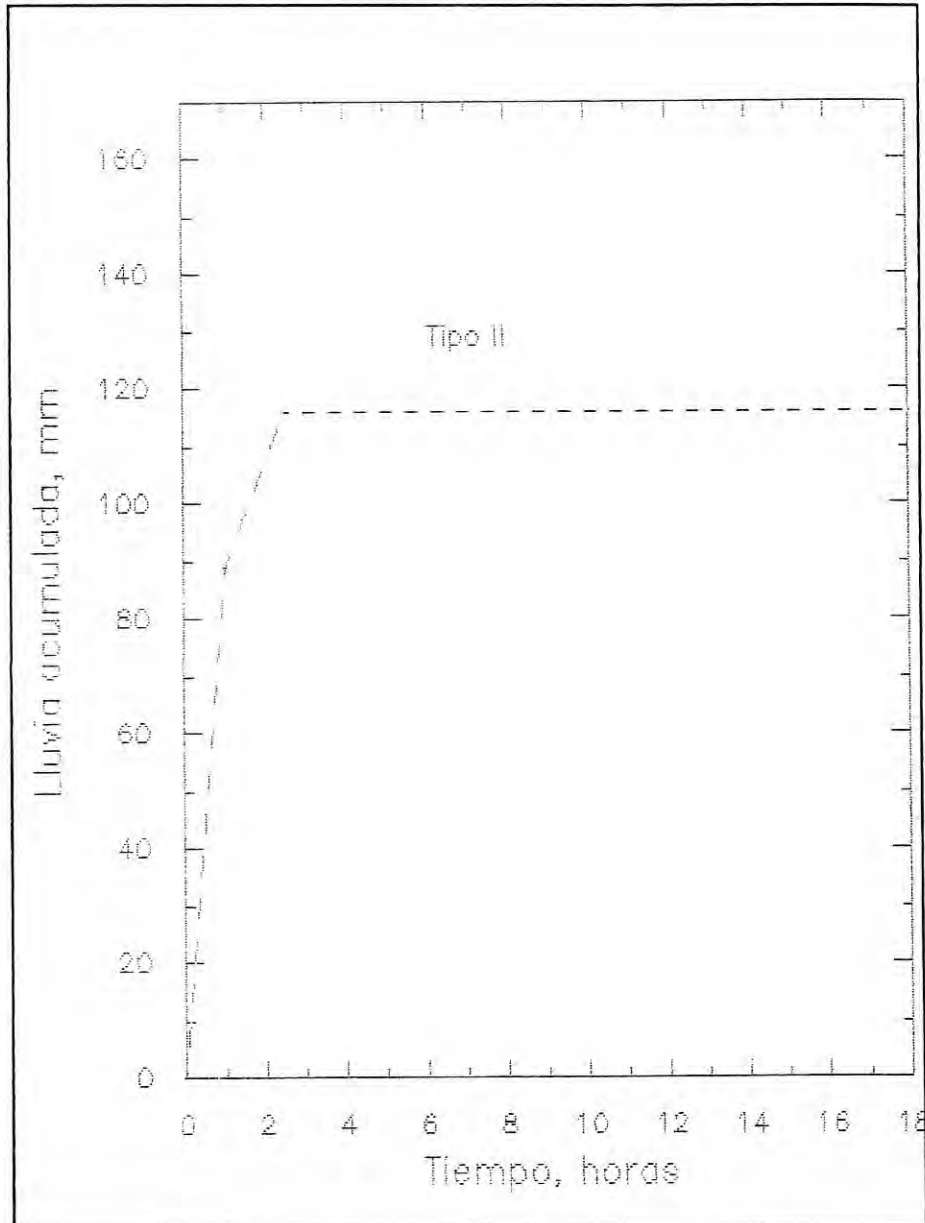
En razón del tiempo de concentración tan reducido de la cuenca vertiente de este colector, se recomienda la utilización de esta lluvia de tipo II para la evaluación de los caudales de escorrentía.

CODIGO:

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

COLECTOR DE SAGUNTO

Tiempo de concentración: 17 minutos aproximadamente.



Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 100 años

En razón del tiempo de concentración tan reducido de la cuenca vertiente de este colector, se recomienda la utilización de esta lluvia de tipo II para la evaluación de los caudales de escorrentía.

ANALISIS DE LOS PROYECTOS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera: Parets

CODIGO: 401

Nombre del Municipio: Gavà

1. DATOS DE PROYECTO

Año: 1985

Período de retorno: 500 años

Lluvia: 117,48 mm

Presupuesto: 497.606.047,- Ptas.

Tramos: Aguas arriba de Gavà, y
Aguas abajo de Gavà

2. PRECIPITACIONES REGISTRADAS

1982: <20 mm en 12 horas en Interpolado

1983: 150 mm en 8 horas en Interpolado

1987: 189 mm en 20 horas en Interpolado

1988: 160 mm en 14 horas en Registrado en Gavà

3. PERIODOS DE RETORNO ESTIMADOS

1982: <1 años

1983: 270 años

1987: 420 años

1988: 260 años

4. COMENTARIOS

La lluvia de proyecto de 117,48 mm corresponde a un período de retorno de 275 años, considerablemente inferior al de 500 años considerado en el proyecto y al de las lluvias de 1987.

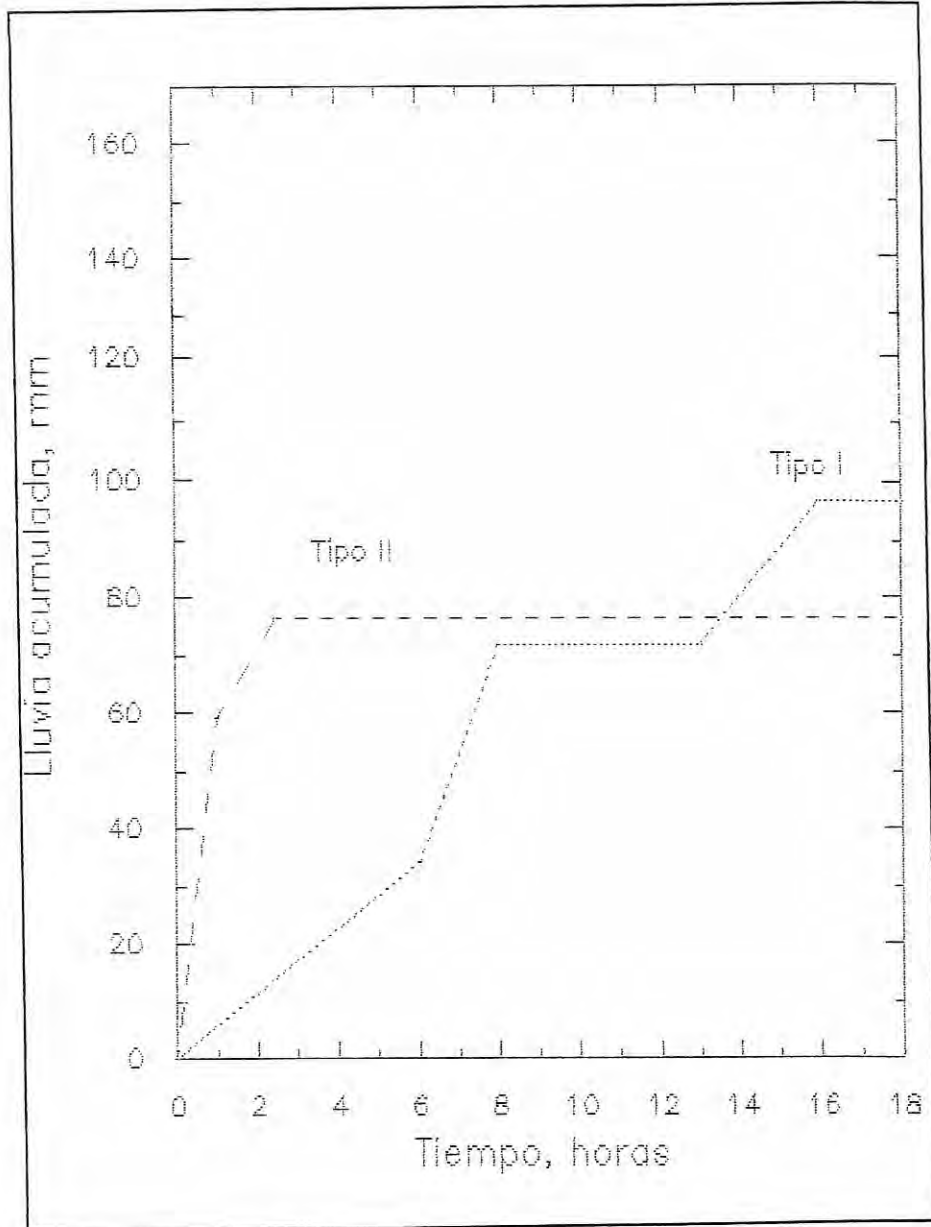
5. DAÑOS ESTIMADOS

Durante los períodos estudiados se han venido registrando importantes inundaciones en la zona urbana y las agrícolas.

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

RIERA DE PARETS

Tiempo de concentración: 1,5 horas aproximadamente.



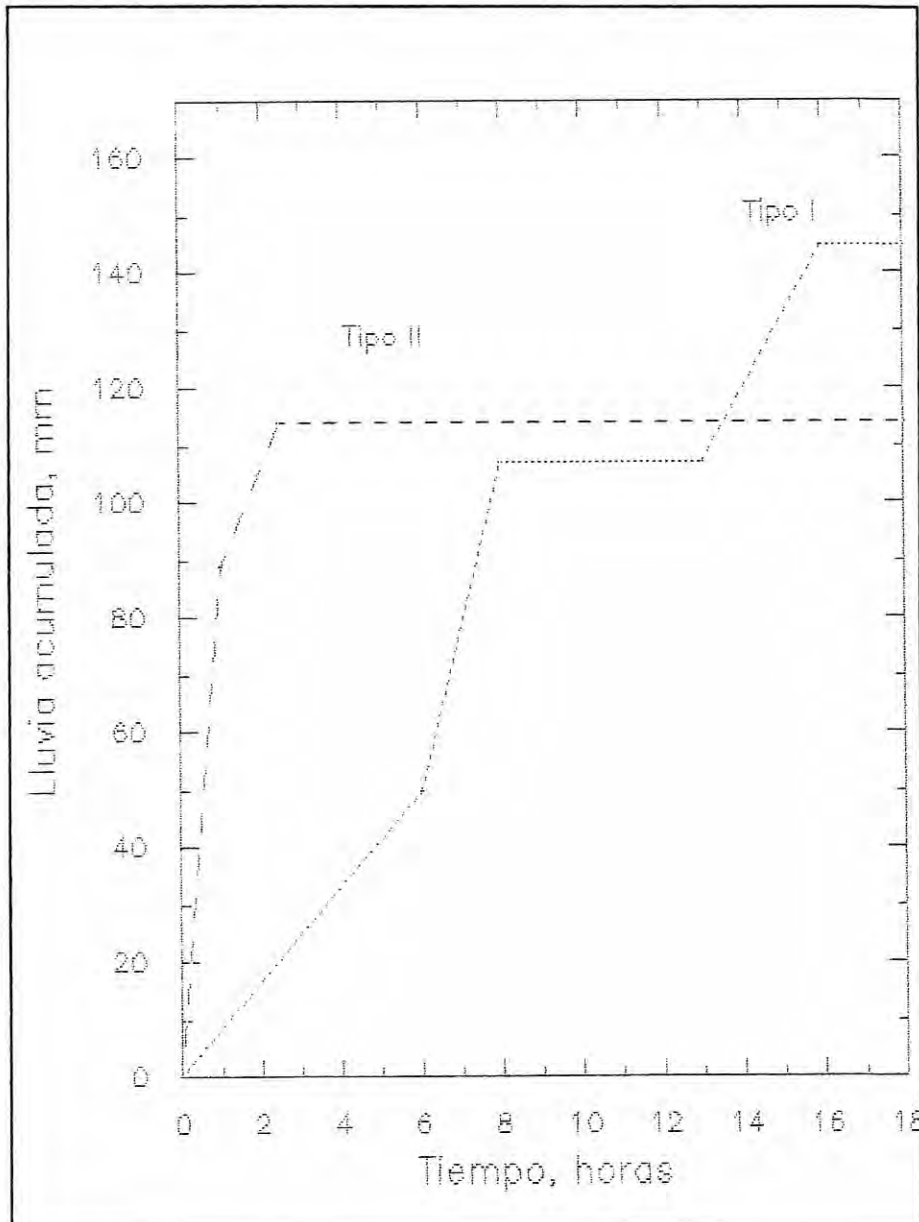
Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 10 años

En razón del tiempo de concentración de esta riera se recomienda la utilización de ambos tipos de lluvias para la evaluación preliminar de los caudales de escorrentía.

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

RIERA DE PARETS

Tiempo de concentración: 1,5 horas aproximadamente.



Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 100 años

En razón del tiempo de concentración de esta riera se recomienda la utilización de ambos tipos de lluvias para la evaluación preliminar de los caudales de escorrentía.

ANALISIS DE LOS PROYECTOS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera: Torrelles

CODIGO: 1504

Nombre del Municipio: Sant Vicenç dels Horts

1. DATOS DE PROYECTO

Año: 1984

Período de retorno: 10-25-100 años Lluvia: 67-88-125 mm resp.

Presupuesto: No disponible por ser un estudio preliminar.

Tramos: Desembocadura en el río Llobregat.

2. PRECIPITACIONES REGISTRADAS

1982: 30 mm en 12 horas en Interpolado

1983: 150 mm en 8 horas en Interpolado

1987: 112 mm en 20 horas en Interpolado

1988: 170 mm en 14 horas en Interpolado

3. PERIODOS DE RETORNO ESTIMADOS

1982: <1 años

1983: 950 años

1987: 30 años

1988: 1 640 años

4. COMENTARIOS

Las lluvias consideradas en el estudio de Intecsa de 67, 88 y 125 mm corresponden a unos períodos de retorno de 9, 35 y 425 años, respectivamente. Mientras que el primero de estos valores es similar al supuesto en el estudio, los otros dos son considerablemente superiores a los considerados en ese estudio. Todos ellos son inferiores a los de las lluvias de 1983 y 1988.

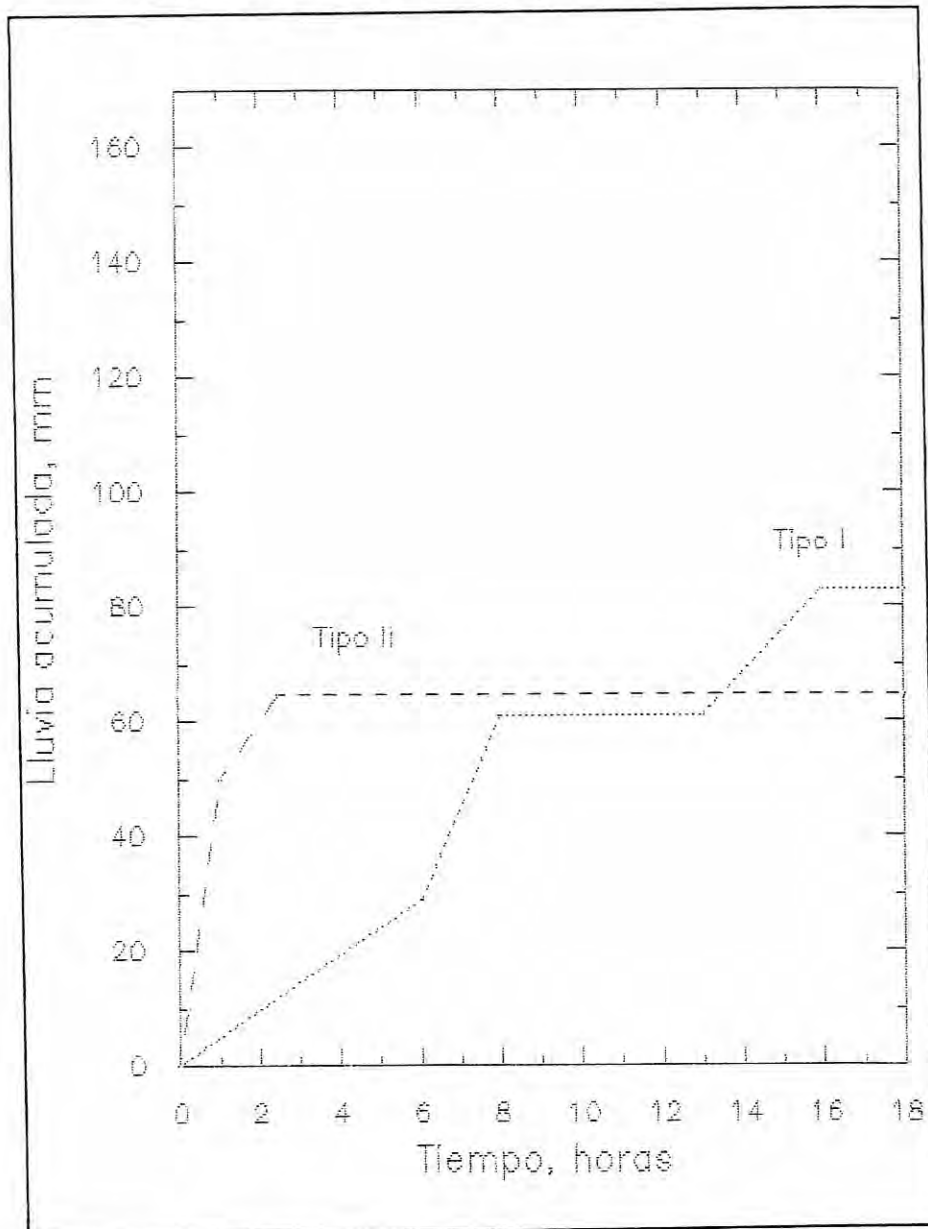
5. DAÑOS ESTIMADOS

Durante los períodos estudiados se han venido registrando inundaciones en las zonas agrícolas.

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

RIERA DE TORRELLES

Tiempo de concentración: 3,5 horas aproximadamente.



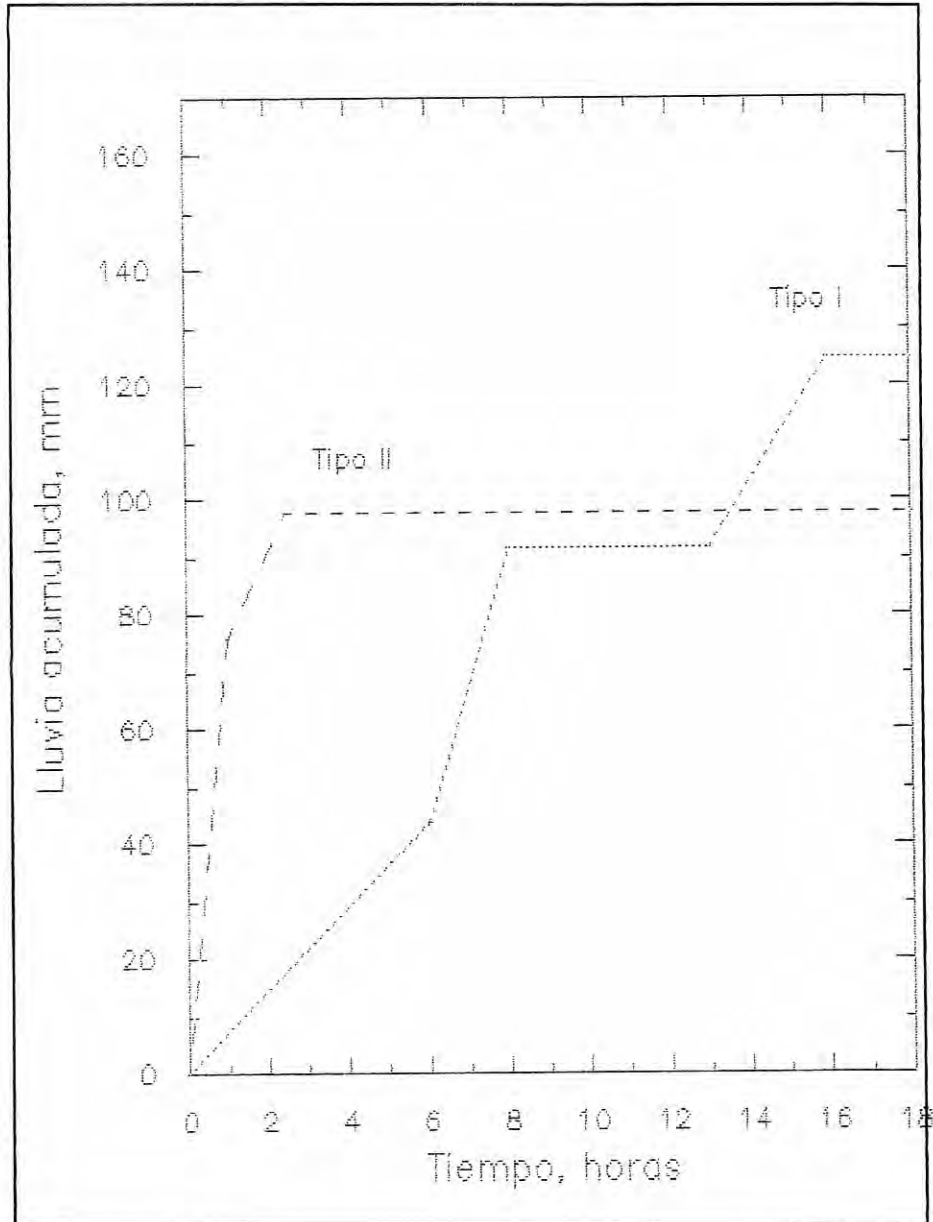
Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 10 años

En razón del tiempo de concentración de esta riera se recomienda la utilización de ambos tipos de lluvias para la evaluación preliminar de los caudales de escorrentía.

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

RIERA DE TORRELLES

Tiempo de concentración: 3,5 horas aproximadamente.



Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 100 años

En razón del tiempo de concentración de esta riera se recomienda la utilización de ambos tipos de lluvias para la evaluación preliminar de los caudales de escorrentía.

ANALISIS DE LOS PROYECTOS DE CANALIZACION DE RIERAS
Y DE CONSTRUCCION DE COLECTORES UNITARIOS

Riera: Cervelló

CODIGO: 1507

Nombre del Municipio: Sant Vicenç dels Horts

1. DATOS DE PROYECTO

Año: 1984

Período de retorno: 10-25-100 años Lluvia: 75-98-140 mm resp.

Presupuesto: No disponible por ser un estudio preliminar.

Tramos: Desembocadura del río Llobregat.

2. PRECIPITACIONES REGISTRADAS

1982: 35 mm en 12 horas en Interpolado

1983: 140 mm en 8 horas en Interpolado

1987: 105 mm en 20 horas en Interpolado

1988: 140 mm en 14 horas en Interpolado

3. PERIODOS DE RETORNO ESTIMADOS

1982: <1 años

1983: 510 años

1987: 20 años

1988: 290 años

4. COMENTARIOS

Las lluvias consideradas en el estudio de Intecsa de 75, 98 y 140 mm corresponden a unos períodos de retorno de 15, 70 y 1180 años, respectivamente. Estos valores son considerablemente superiores a los supuestos en dicho estudio. Sólo el tercero de esos valores es superior al de las lluvias de 1983.

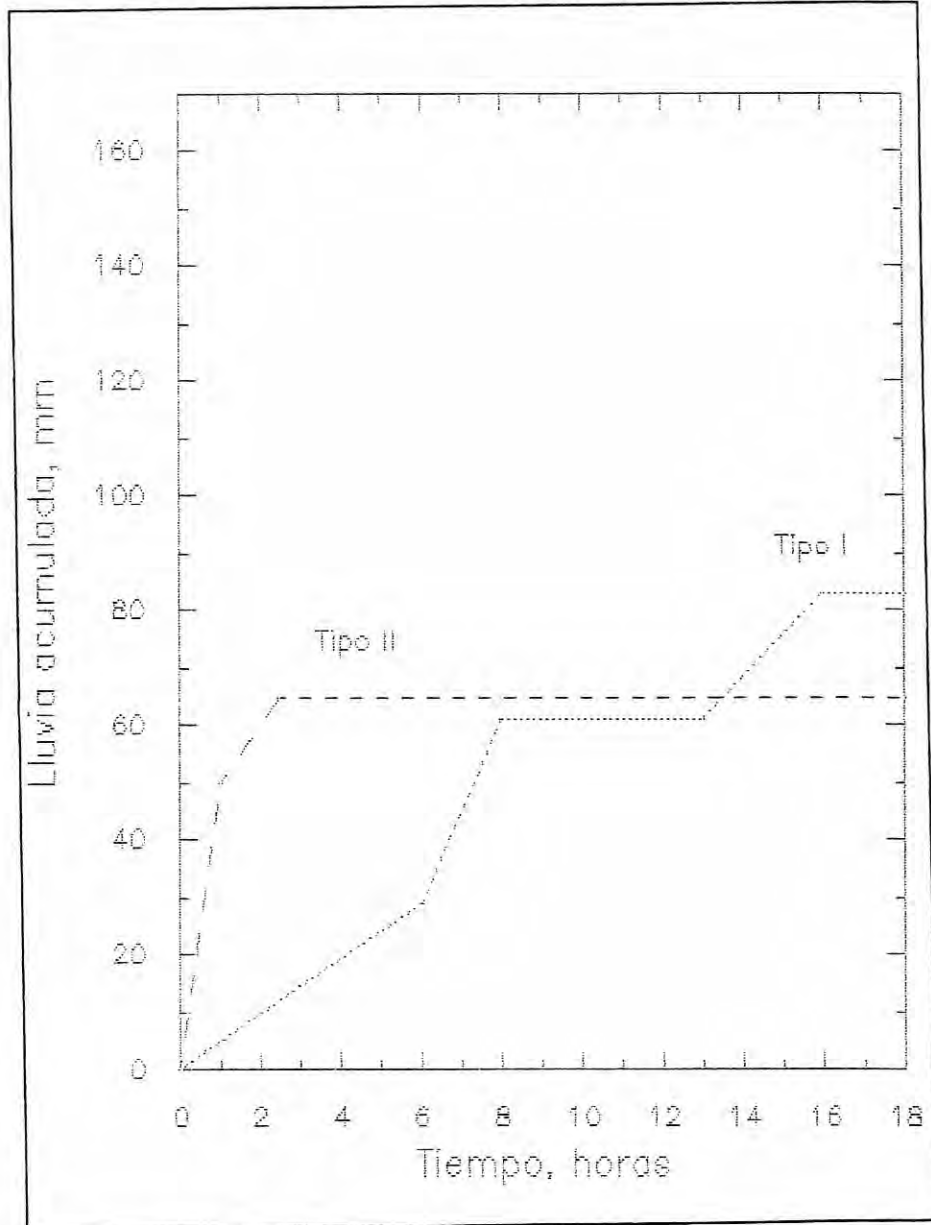
5. DAÑOS ESTIMADOS

Durante los períodos estudiados se han venido registrando inundaciones en las zonas agrícolas.

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

RIERA DE CERVELLO

Tiempo de concentración: 3,5 horas aproximadamente.



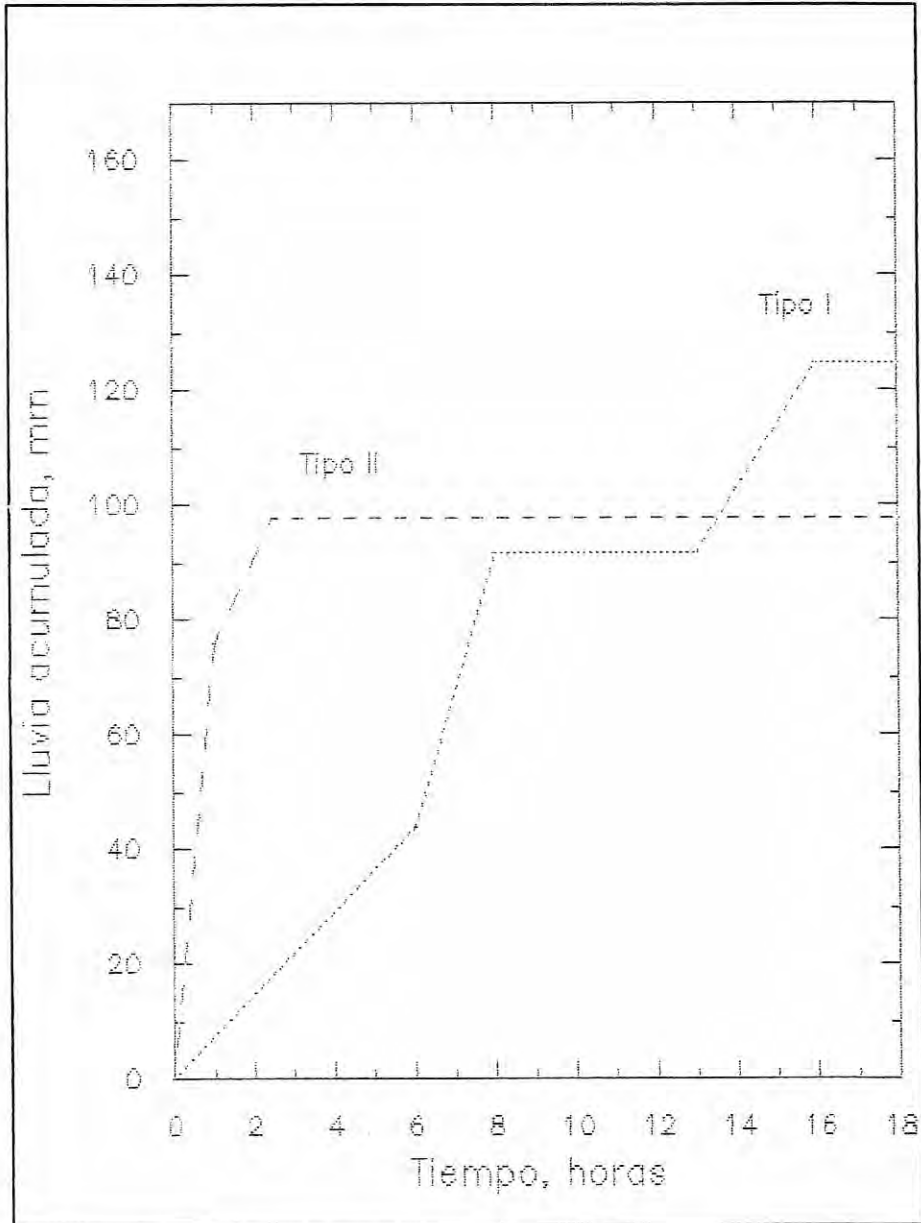
Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 10 años

En razón del tiempo de concentración de esta riera se recomienda la utilización de ambos tipos de lluvias para la evaluación preliminar de los caudales de escorrentía.

6. LLUVIA DE DISEÑO PROPUESTA PARA ESTA RIERA

RIERA DE CERVELLO

Tiempo de concentración: 3,5 horas aproximadamente.



Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 100 años

En razón del tiempo de concentración de esta riera se recomienda la utilización de ambos tipos de lluvias para la evaluación preliminar de los caudales de escorrentía.

CONSIDERACIONES PRACTICAS

La determinación del período de retorno correspondiente a las intensas lluvias registradas durante los 4 episodios ocurridos entre 1982 y 1988 en el Area Metropolitana de Barcelona pone de manifiesto una serie de consideraciones prácticas que es necesario analizar con detalle para poder interpretar adecuadamente los resultados obtenidos.

Entre los elementos que mayor influencia tienen en la determinación del período de retorno de un episodio de lluvia merecen destacarse: 1) la fiabilidad de las cantidades de agua recogidas históricamente, 2) la estimación de la lluvia recogida en un punto mediante interpolación de observatorios próximos, 3) el factor de localización geográfica, 4) la relación de rendimientos crecientes entre la lluvia recogida y el período de retorno, y 5) la duración real de las precipitaciones. A continuación se analizan brevemente la importancia de cada uno de estos elementos en el proceso de cálculo del período de retorno de una lluvia.

Fiabilidad de los Registros de Lluvia

Los métodos más comúnmente utilizados para definir una lluvia de cálculo están basados en series de registros de lluvias correspondientes a un largo período de tiempo. Existen por tanto dos posibles causas de error en estos datos históricos:

1. La exactitud de los registros pluviométricos.
Es frecuente que las gráficas que aparecen en las bandas de los pluviógrafos no se inicien en la línea de 0 mm, y que el vaciado del depósito se alcance antes de llegar al máximo de 10 mm.

Aunque este error puede ser corregido por una calibración cuidadosa y sistemática del pluviógrafo, y la aplicación de un factor de corrección, esta circunstancia puede dar lugar a errores totales del orden del 5 al 10%.

2. El tamaño de la serie de registros históricos.
Cuanto mayor sea el tamaño de la serie utilizada más fiable serán las estimaciones del período de retorno derivadas mediante la aplicación de un método estadístico.

Si las series históricas son cortas o incompletas, por falta de registros intermedios derivados de falta de mantenimiento, la fiabilidad de los resultados obtenidos disminuirá considerablemente. A este respecto cabe señalar que la fórmula propuesta por Pou (1984) está basada en series más o menos incompletas de diversos observatorios de Barcelona que, en conjunto, abarcan desde 1918 hasta 1982.

Estimación de la Lluvia Recogida en un Punto

El régimen de precipitaciones de la costa mediterránea y, en particular, en el Area Metropolitana de Barcelona es muy variable e irregular, por lo que resulta muy difícil estimar la precipitación caída en un punto a partir de registros fiables obtenidos en puntos relativamente próximos, situados entre 5 y 10 km.

Estas dificultades aumentan cuando se trata de determinar la precipitación caída en la cuenca de una riera del delta del Llobregat, debido a los cambios bruscos de orografía que suelen registrarse de ella. Como se ha analizado en capítulos precedentes, la orografía de esta zona es uno de los factores determinantes de la localización de las lluvias torrenciales.

Factor de Localización Geográfica

El factor de localización geográfica se ha definido como la relación entre la lluvia máxima caída en un punto determinado del Area Metropolitana de Barcelona y la precipitación máxima recogida en la ciudad de Barcelona.

Este factor se ha obtenido de los mapas de precipitaciones máximas elaborados por Pantecnia (1969), en el que se representan las curvas de igual precipitación máxima en 24 horas para períodos de retorno de 20 y 50 años, basados en una serie de registros pluviométricos que abarcan desde 1943 a 1962. Como puede apreciarse, esta serie de 20 años parece excesivamente corta para establecer con fiabilidad la lluvia máxima diaria con un período de retorno de 20 años.

Cantidad de Lluvia y Período de Retorno

Un error en la valoración de la lluvia total recogida en un punto lleva consigo un determinado error en la estimación de su correspondiente período de retorno. Este último error aumenta de forma notable a medida que la cantidad total de lluvia es mayor.

Para ilustrar esta circunstancia se ha considerado el caso de la riera de Torrelles y se ha determinado la relación entre las precipitaciones registradas durante el período de 14 horas en que se registraron las lluvias del 12 de noviembre de 1988 y los correspondientes períodos de retorno estimado mediante la fórmula de Pou (1984). La Tabla 14 resume los valores del período de retorno que se obtendrían para 3 valores de la precipitación total en 14 horas, en el supuesto de que esta precipitación es la real, y en los supuestos de que se ha cometido un error de $\pm 10\%$ en el registro de la precipitación.

Como puede apreciarse en la Tabla 14, el error cometido en el período de retorno estimado aumenta mucho más rápidamente que el error cometido en la medida de la lluvia total recogida en un determinado punto. Esta observación pone claramente de manifiesto la necesidad absoluta de disponer de registros fiables de las precipitaciones si se desea estimar los períodos de retorno con una precisión razonable.

Tabla 14. Influencia de la precisión de la lluvia total recogida en la riera de Torrelles el día 12 de noviembre de 1988 sobre el período de retorno estimado para esa precipitación.

Lluvia total recogida en 14 h mm	Período de retorno, años		
	exacto	supuesto error de - 10%	supuesto error de + 10%
72	6	4,5	9
100	30	17	52
130	165	77	344
150	515	217	1227

Duración de las Precipitaciones

El estudio realizado por Pantecnia (1969) pone claramente de manifiesto que las lluvias extraordinarias registradas en el Area Metropolitana de Barcelona pueden agruparse en dos grandes categorías: 1) lluvias largas, de más de 8 horas de duración y con una interrupción más o menos prolongada en las precipitaciones, y 2) lluvias cortas, con menos de 2,5 horas de duración. Las lluvias del primer tipo presentan una fase inicial de 4 a 6 horas, previa al cese temporal de la lluvia, en la que las precipitaciones registran una fuerte intensidad.

Las precipitaciones extraordinarias registradas en los años 1982, 1983, 1987 y 1988 en el Area Metropolitana de Barcelona se asemejan razonablemente a uno u otro de los tipos propuestos por Pantecnia (1969), lo que permite suponer que esos dos modelos representan adecuadamente la forma de las precipitaciones extraordinarias que suelen registrarse en esta zona.

Los formularios correspondientes a los proyectos de canalización analizados en este capítulo contienen los pluviogramas recomendados para el dimensionamiento de dichos encauzamientos. Las lluvias totales que aparecen en estos formularios han sido obtenidas siguiendo la metodología descrita en este capítulo, para un período de retorno de 10 y de 100 años. La forma de los pluviogramas ha sido obtenida de acuerdo con las observaciones contenidas en el estudio de Pantecnia (1969) y en el estudio de remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat (Mujeriego y cols., 1986).

Hay que resaltar por último que los pluviogramas recomendados para el dimensionamiento de estas canalizaciones difiere de forma notable, en algunos casos, de las lluvias consideradas en los proyectos analizados.

VALORACION DE LOS RESULTADOS

Del examen de los proyectos de canalización considerados y de la información recopilada en los correspondientes formularios se desprenden las siguientes conclusiones:

1. Existe una evidente desproporción entre el considerable presupuesto de los proyectos de canalización y la escasa elaboración de los datos experimentales utilizados para determinar la lluvia de diseño, factor determinante de la capacidad de desagüe de la canalización. El escasísimo esfuerzo y trabajo que se dedican a la obtención de la lluvia de diseño se traduce en notables errores en la aplicación de la fórmula de cálculo.
2. El método de cálculo utilizado y, en especial, su aplicación práctica pueden ser notablemente mejorados.
3. Mientras que las curvas intensidad - duración contenidas en las Recomendaciones de la Comisión de Urbanismo y Servicios Comunes de Barcelona y otros Municipios (1972) no superan las 2 horas, las precipitaciones registradas durante los 4 episodios de lluvia de los últimos 6 años indican claramente la necesidad de adoptar lluvias de diseño de hasta 20 horas.
4. Las memorias de los proyectos deberían distinguir entre cuencas vertientes pequeñas y grandes, ya que el tipo de lluvia más desfavorable es distinto en cada una de ellas. En efecto, mientras en las cuencas pequeñas, la duración de una lluvia de las denominadas de corta duración o de tipo II (Mujeriego y cols., 1986; Pantecnia, 1969) se ajusta bastante a su tiempo de concentración, en las cuencas grandes las lluvias denominadas de larga duración o del tipo I son las que generan caudales de escorrentía superiores.
5. Los datos hidrológicos disponibles son escasos y poco fiables, lo que introduce una considerable imprecisión en el valor estimado del período de retorno.
6. Para un mismo valor de la cantidad total de agua recogida, se observa una gran diversidad de intensidades de precipitación en el Area Metropolitana de Barcelona, incluso en poblaciones cercanas entre sí. La orografía característica de la zona parece jugar un papel determinante en esta variación espacial de las intensidades de lluvia.
7. La considerable variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones registradas justificaría la implantación de una red de vigilancia pluviométrica suficientemente densa como la propuesta en capítulos anteriores.

8. El período de retorno estimado para las lluvias registradas durante los 4 episodios estudiados muestran una considerable variación tanto espacial, entre distintas zonas del Area Metropolitana de Barcelona, como temporal, dependiendo del año concreto en que se registraron las intensas lluvias. Dejando al margen los datos del año 1982, los períodos de retorno estimados para las lluvias de los años 1983, 1987 y 1988 oscilan entre 20 y 1535 años. De los 18 valores estimados, 10 de ellos son superiores a 100 años.
9. Estos resultados parecen indicar que, en el supuesto de que las series históricas disponibles en el Area Metropolitana de Barcelona sean fiables, las lluvias registradas en 1983, 1987 y 1988 tuvieron un carácter excepcional y por lo tanto cabía esperar que produjeran inundaciones.
10. Las lluvias de diseño consideradas en los proyectos de canalización no guardan generalmente relación con los períodos de retorno adoptados en esos mismos proyectos. Como se ilustra en la Tabla 15, los períodos de retorno estimados en este estudio para las lluvias de diseño con período de retorno igual o superior a 100 años son generalmente de 5 a 10 veces mayores que los supuestos en dichos proyectos. Esto significa que las obras proyectadas con períodos de retorno superiores a 100 años ofrecen una protección frente al riesgo de inundación superior a la supuesta inicialmente.

Por otra parte hay que señalar que los tipos de lluvia I y II considerados en el estudio de Pantecnia (1969) establecen intervalos de intensidad de precipitación constante independientes del tiempo de concentración de la cuenca vertiente. Este concepto ha sido el utilizado para elaborar las lluvias de diseño propuestas en los formularios de las obras de canalización estudiados previamente.

11. Los resultados anteriores ponen claramente de manifiesto la enorme importancia de establecer una profunda reflexión sobre las directrices y datos básicos a tener en cuenta en la redacción de futuros proyectos de canalización de rieras dentro del Area Metropolitana de Barcelona. De otro modo, no será posible asegurar que las soluciones adoptadas son técnica y económicamente las adecuadas, y que las obras realizadas ofrecen la protección deseada frente a futuros episodios de intensas precipitaciones.

Tabla 15. Análisis comparativo de los períodos de retorno considerados en los proyectos o estudios de canalización de diversas rieras del Area Metropolitana de Barcelona y los períodos de retorno estimados a partir de información hidrológica disponible para esta zona (Pou, 1984).

Riera o colector	Tiempo de concentración	Período de retorno, años	
		Supuesto	Estimado
Sant Climent	4,0 horas	100	985
Sant Llorenç	2,5 horas	100	570
Sagunto	17,0 minutos	50	40
Parets	1,5 horas	500	275
Torrelles	3,5 horas	10	9
Torrelles	3,5 horas	25	35
Torrelles	3,5 horas	100	425
Cervelló	3,5 horas	10	15
Cervelló	3,5 horas	25	70
Cervelló	3,5 horas	100	1180

PROGRAMA DE MEDIDAS CORRECTORAS

Del análisis realizado en capítulos anteriores es posible establecer una vez más un programa de medidas correctoras que asegure la correcta evacuación de las aguas de escorrentía generadas durante episodios de lluvia como los de noviembre de 1983, octubre de 1987 y noviembre de 1988, y elimine así el riesgo real de inundación que pesa sobre numerosas zonas del Area Metropolitana de Barcelona.

Las medidas correctoras más adecuadas para evitar cada una de las inundaciones registradas en este estudio aparecen descritas en el correspondiente apartado de los formularios contenidos en el Anexo 4 de este estudio.

Por otra parte, una evaluación conjunta de las causas determinantes de estos tres episodios de inundaciones ha permitido establecer de nuevo las líneas básicas de un programa de medidas correctoras de aplicación general a todo el Area Metropolitana de Barcelona.

Este programa de medidas correctoras habría de considerar, por orden de prioridad, las siguientes líneas de actuación:

1. El restablecimiento de la capacidad hidráulica de las rieras.

Dentro de este capítulo hay que diferenciar dos tipos de actuaciones:

- a) Medidas que requieren la construcción de algún tipo de obra, como las destinadas a eliminar la reducción de la capacidad existente en numerosas intersecciones de las rieras con vías de comunicación, o como las destinadas a asegurar que el cauce de la riera disponga de una pendiente y márgenes adecuados.

El proyecto y construcción de estas obras habrá de responder a las exigencias hidráulicas del cauce natural de la riera.

- b) Trabajos de limpieza y mantenimiento destinados a eliminar la considerable cantidad de vegetación, arrastres y sedimentos de todo tipo que existen actualmente en el cauce de las rieras.

2. La provisión de cauces adecuados en los tramos urbanos de las rieras.

Dentro de este capítulo hay que diferenciar dos tipos de actuaciones:

- a) Medidas que requieren la construcción de un nuevo cauce o conducción con capacidad suficiente para evacuar los caudales característicos de la riera.
- b) Actuaciones que exigen la remodelación o construcción de los dispositivos de desagüe necesarios para que las aguas de escorrentía generadas en el tramo de la riera urbanizado puedan acceder al conducto que sustituye actualmente a la riera. En este apartado habría que incluir también la construcción de zanjas y rejillas desarenadoras que eviten la entrada de arrastres en los cauces y conducciones.

El proyecto y la construcción de las obras incluidas en los apartados anteriores habrán de responder adecuadamente a las exigencias hidráulicas e hidrológicas de la cuenca natural de las rieras.

3. La implantación y observancia de una normativa urbanística.

Esta normativa deberá incluir:

- a) La prohibición de realizar vertidos de residuos sólidos y basuras en los cauces públicos, y la provisión de alternativas adecuadas y asequibles para efectuar esos vertidos, de modo que pueda evitarse la acumulación de ese tipo de residuos en los cauces de las rieras.
- b) La adopción de unos criterios urbanísticos apropiados y acordes con los principios de la hidrología urbana, a fin de asegurar un control y desagüe adecuados de las aguas de escorrentía generados en los cauces de las rieras, así como de mitigar la erosión causada por las aguas mediante la repoblación y restitución de zonas vulnerables a estos efectos.

Tres directrices principales a tener en cuenta serían, por una parte, la repoblación vegetal de las zonas más deterioradas o vulnerables a la erosión producida por las aguas de escorrentía, por otra parte, la adopción de dispositivos urbanísticos que permitan retener temporalmente las aguas de lluvia, evitando así las puntas de caudal en los alcantarillados y rieras, y por último, la construcción de barreras físicas para controlar los arrastres de piedras y arenas causados por las aguas en su descenso desde las colinas próximas a muchos municipios. Los trabajos del Seminario sobre Hidrología Urbana (1987), organizado en Sitges por la Universidad Técnica de Verano de Cataluña, contienen alternativas de gran interés que ya han sido aplicadas en otros países mediterráneos como Francia.

4. La implantación de un programa de limpieza y mantenimiento.

Este programa de limpieza y mantenimiento debería afectar a todos los dispositivos de eliminación de arrastres y de

evacuación de aguas de escorrentía, con objeto de asegurar su correcto estado de funcionamiento en todo momento.

Como ya se ha indicado en la primera de estas líneas de actuación, la limpieza y mantenimiento sistemáticos de los imbornales y dispositivos de desagüe constituyen requisitos esenciales para asegurar una circulación adecuada de las aguas de escorrentía, sin retenciones, acumulaciones, desbordamientos, roturas de márgenes e inundaciones de cualquier tipo.

Este programa de limpieza y mantenimiento deberá abarcar también los dispositivos de desbaste y desagüe de las rieras en los ríos Llobregat y Besós. Así se aseguraría que los sistemas de clapetas existentes son operativos en todo momento, y se evitaría la eventual inundación de las zonas colindantes de los ríos por salida de agua de sus cauces en momentos de crecida.

5. La provisión de equipos de impulsión y achique.

Estos equipos de impulsión y achique deben asegurar, con la mayor fiabilidad técnica posible, la evacuación de los excesos de escorrentía que puedan producirse en puntos críticos de las redes de alcantarillado.

Esta actuación ha producido resultados positivos durante los episodios de intensas lluvias registrados en octubre de 1987 y en noviembre de 1988, evitando la inundación de la Plaza Cerdá de Barcelona, y reduciendo así los trastornos circulatorios que llegaron a producirse en noviembre de 1983.

6. La remodelación y ampliación del alcantarillado.

Los trabajos de remodelación y ampliación deberán efectuarse especialmente en los tramos conflictivos y en los dispositivos de desagüe, a fin de dotarlos de una capacidad hidráulica suficiente.

Como caso ejemplar de la eficacia de este tipo de actuación cabe citar los trabajos en curso de ejecución para la remodelación parcial de los colectores de la Bunyola y de la Aviación en el municipio de El Prat de Llobregat.

La realización de un estudio detallado de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat, mediante un modelo numérico de escorrentía urbana (Mujeriego y cols., 1986), permitió la redacción de un proyecto de remodelación basado en caudales de escorrentía realistas que, con un presupuesto del 25% del generalmente estimado en el Plan de Saneamiento Metropolitano para remodelar toda la red, va a permitir resolver los problemas más prioritarios del núcleo urbano, y ha evitado su inundación durante los episodios de lluvia de octubre de 1987 y noviembre de 1988.

A este respecto hay que señalar el enorme interés que la aplicación de los modelos numéricos de escorrentía urbana tiene en los trabajos de remodelación y gestión de las redes de alcantarillado del Area Metropolitana de Barcelona. No obstante, es igualmente necesario insistir que su aplicación exige inexcusablemente la disponibilidad de datos fiables sobre la pluviometría de la zona. Un programa de seguimiento de 2 a 4 años en zonas seleccionadas del Area Metropolitana de Barcelona permitiría obtener una información adecuada para la calibración y aplicación sistemática de esos modelos en todo el Area Metropolitana.

7. El control del nivel freático.

La elevación del nivel freático registrada en amplias zonas del delta del río Llobregat ha contribuido a la inundación prolongada o permanente de numerosas zonas urbanas y agrícolas del Area Metropolitana de Barcelona, especialmente tras las intensas lluvias que se registraron en octubre de 1987.

En contraste con lo ocurrido tras aquel episodio de lluvias, las precipitaciones registradas en noviembre de 1988 no produjeron un aumento apreciable del nivel freático en las zonas del delta del Llobregat. La mayor proximidad a la línea de costa de las zonas de máxima precipitación podría explicar que la recarga del acuífero confinado del delta del río Llobregat no llegara a producirse de forma tan marcada como sucedió durante las lluvias de octubre de 1987.

La gravedad de los problemas económicos causados en las edificaciones y en las explotaciones agrarias en aquella ocasión, y especialmente los problemas sanitarios que estas aguas estancadas pueden ocasionar en futuros episodios de lluvia, deberían ser objeto prioritario de un estudio que determine las medidas correctoras necesarias para favorecer la infiltración de las aguas de escorrentía en el terreno.

No parece necesario insistir en las consecuencias tan desastrosas que para los habitantes de estas zonas y para el desarrollo económico y turístico de las zonas costeras del Bajo Llobregat puede llegar a tener el desarrollo de condiciones insalubres, especialmente durante la primavera y el verano, en grandes zonas de sus términos municipales, y particularmente las situadas en las proximidades de la costa.

VALORACION ECONOMICA DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS

INTRODUCCION

La valoración económica preliminar del programa de medidas correctoras propuesto en capítulos anteriores se ha realizado a partir de los datos siguientes:

1. Estimaciones presupuestarias realizadas por los Servicios Técnicos tanto de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos como de los municipios correspondientes, para proyectos de construcción de obras iguales o similares a las propuestas en este estudio.
2. Estimaciones realizadas durante este estudio, a partir de presupuestos realizados por los Servicio Técnicos de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos, sobre costes de construcción de unidades de obra similares a las propuestas en este estudio.
3. Estimaciones realizadas durante este estudio sobre los costes de limpieza y mantenimiento de los dispositivos de desagüe.

Los costes individualizados de las medidas correctoras propuestas en cada caso están indicadas en el apartado correspondiente de los formularios que aparecen en el Anexo 4 de este estudio. Las cifras que aparecen en estos presupuestos corresponden a costes del año 1988.

VALORACION ECONOMICA

Un análisis general de los costes de ejecución de las medidas correctoras propuestas pone de manifiesto la existencia de dos grandes grupos de actuaciones:

1. Proyectos que por su amplitud geográfica o su dificultad técnica comportan unos presupuestos singulares, próximos generalmente a los 500 millones de pesetas y, en algunos casos, muy superiores a esa cifra.
2. Proyectos que por su menor envergadura o su sencillez técnica tienen presupuestos que oscilan entre una y varias decenas de millones de pesetas, pudiendo llegar en algunos casos a superar los cien millones de pesetas.

El análisis y definición de los criterios a tener en cuenta para establecer la lista de actuaciones prioritarias que habrían de llevarse a cabo dentro de un presupuesto limitado es un aspecto que sobrepasa los objetivos de este estudio. No obstante, hay que resaltar el gran interés de efectuar un estudio de alternativas en cada caso, especialmente cuando el presupuesto de ejecución es elevado. Una vez adoptada la solución, su ejecución podría implantarse por fases, dentro de un esquema de prioridades general.

Con objeto de establecer una visión global del presupuesto del programa de medidas correctoras propuesto, se han agrupado las diferentes actuaciones de acuerdo con sus características más importantes, se ha obtenido el presupuesto parcial de cada grupo, y se ha estimado a continuación el precio medio de cada una de esas actuaciones. Los resultados de este análisis aparecen en la Tabla 16.

Como puede apreciarse en la Tabla 16, las actuaciones más numerosas y con un presupuesto conjunto superior corresponden al restablecimiento de la capacidad hidráulica de las rieras, con un presupuesto medio aproximado de 74 millones de pesetas cada una, aunque con un amplio margen de variación entre ellas.

Le siguen en importancia las actuaciones destinadas a aumentar la capacidad hidráulica de los interceptores y de las redes de alcantarillado, con un coste medio aproximado de 94 millones de pesetas, aunque con un amplio margen de variación entre ellas.

A continuación aparecen las 5 modificaciones o construcciones de puentes sobre el cauce de otras tantas rieras, con un coste medio aproximado de 30 millones cada una, y con un intervalo de variación entre ellas de 12 a 55 millones de pesetas.

Por último, hay que señalar las actuaciones destinadas a la instalación o ampliación de dispositivos de drenaje, con un presupuesto medio unitario de 4 millones de pesetas, las dos actuaciones destinadas a colocar diques de escollera que protejan la salida al mar de dos rieras, con un presupuesto medio unitario de 9 millones de pesetas, y las actuaciones destinadas a construir dispositivos de retención de arrastres, con un presupuesto medio unitario de 1 millón de pesetas.

Los capítulos municipales del programa de limpieza, mantenimiento y conservación sistemáticos de los cauces y dispositivos de desagüe de las rieras tienen un presupuesto medio aproximado de 0,8 millones de pesetas anuales. A pesar de la dificultad de estimar correctamente estos costes, y aún admitiendo un aumento del 100% sobre el coste propuesto en razón del estado actual de los cauces, no cabe duda que esta sería la actuación con una relación beneficio/coste más favorable de las que se pueden realizar en estos momentos, ya que reduciría muy considerablemente los riesgos de inundación y el alcance de los daños que pudieran llegar a producirse en el Area Metropolitana de Barcelona.

Tabla 16. Análisis presupuestario del programa de medidas correctoras propuesto para evitar las inundaciones ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona el día 12 de noviembre de 1988.

Tipo de actuación	Número de actuaciones	Presupuesto, millones de pesetas		
		Total	Medio	Intervalo
Restablecimiento de la capacidad hidráulica de la riera	24	1 785	74	1,2 - 300
Aumento de la capacidad del interceptor o de la red de alcantarillado	13	1 254	94	5,5 - 300
Modificación o construcción de un puente sobre la riera	5	148	30	12 - 55
Instalación o ampliación de dispositivos de desagüe	2	8	4	3 - 5
Escollera de protección en la desembocadura al mar y conductos de prolongación	2	19	9	5 - 14
Instalación de dispositivos de retención de arrastres	15	14	1	0,2 - 1,5
Tramo Fonsanta	1	-	-	----
Red de drenaje de Hospitalet de Llobregat	1	-	-	----
Ampliación de la capacidad hidráulica de la Plaza Cerdá	1	-	-	----
TOTAL	71	2 190		
Programas de limpieza, mantenimiento y conservación de cauces, millones pesetas/año	35	26	0,8	0,07 - 2,5

En resumen, el programa de medidas correctoras propuestas tiene un presupuesto aproximado de 2 216 millones de pesetas, distribuidas en un total de 71 actuaciones, y 35 programas de limpieza y mantenimiento de cauces. Hay que resaltar que el

elevado presupuesto de algunas actuaciones exige la realización de un detenido estudio de alternativas que permita definir la solución más adecuada desde el punto de vista técnico y económico. Un excelente ejemplo ilustrativo de esta estrategia lo ofrece la remodelación llevada a cabo en la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat.

CONCLUSIONES

El objetivo general de este estudio ha sido evaluar las causas inmediatas de las inundaciones producidas en el Area Metropolitana de Barcelona por las intensas lluvias registradas el día 12 de noviembre de 1988.

Los objetivos específicos de este estudio han sido: 1) comparar los efectos de estas intensas lluvias con los de las lluvias registradas en octubre de 1987 y noviembre de 1983, 2) elaborar un programa de medidas correctoras que evite la repetición de las inundaciones en el futuro, 3) evaluar los beneficios obtenidos con las reformas llevadas a cabo desde el episodio de noviembre de 1983, y 4) valorar el grado de protección que ofrecen diversos proyectos de canalización de rieras elaborados por la EMSHTR frente a posibles inundaciones.

De los datos e información recopilados durante este estudio es posible formular las siguientes conclusiones:

1. El episodio de intensas lluvias ocurridas en el Area Metropolitana de Barcelona el día 12 de noviembre de 1988 es típico del régimen pluviométrico característico de las zonas costeras mediterráneas, y de Cataluña en particular, durante el período otoñal. Las consecuencias inmediatas de estos episodios son el desbordamiento de numerosas rieras del Area Metropolitana y la inundación de las zonas urbanas y agrícolas colindantes, lo que provoca numerosas pérdidas humanas y cuantiosos daños materiales.
2. La circunstancia de que este episodio de intensas lluvias haya sido el cuarto de los ocurridos en Cataluña desde que en noviembre de 1982 se registrara la última avenida del río Llobregat ha contribuido a realzar el interés sobre este tipo de fenómenos y las consecuencias catastróficas que de ellos suelen derivarse.
3. El mantenimiento inadecuado de la red pluviométrica existente en el Area Metropolitana de Barcelona hizo que sólo pudiera obtenerse información de este episodio de intensas lluvias de 4 de los 48 pluviómetros instalados. En general, el mal estado de conservación de las baterías instaladas como fuente alternativa de energía impidió que los pluviómetros funcionaran durante el prolongado corte de corriente eléctrica que se registró durante el día 12 de noviembre de 1988. Este resultado no es mucho más favorable que el obtenido en octubre de 1987, cuando sólo pudo obtenerse información de 2 pluviómetros.

4. Mientras no se disponga de información histórica fiable de estos episodios de intensas lluvias no será posible establecer criterios adecuados para el encauzamiento de las rieras o la remodelación de las redes de alcantarillado del Area Metropolitana de Barcelona. La red pluviométrica propuesta en este estudio, integrado por 20 pluviómetros automáticos y con un coste aproximado de 4 millones de pesetas, mantenida adecuadamente mediante un presupuesto aproximado de 3 millones de pesetas anuales, permitiría obtener series históricas de enorme utilidad práctica para caracterizar el régimen pluviométrico del Area Metropolitana de Barcelona.
5. Las causas inmediatas de las inundaciones registradas en noviembre de 1988 fueron prácticamente las mismas que las que provocaron las inundaciones en octubre de 1987 y noviembre de 1983, y están directamente relacionadas con el estado de abandono y deterioro en que los sistemas de desagüe del Area Metropolitana han permanecido durante los últimos 6 años.
6. La insuficiente capacidad hidráulica de las rieras, la acumulación de residuos y basuras de todo tipo en el cauce de las rieras, las dificultades físicas para que los caudales recogidos por las rieras puedan desaguar en el mar, la utilización del cauce de las rieras como vía urbana, camino rural o incluso zona edificable, la insuficiente capacidad o fiabilidad del sistema de alcantarillado, y la frecuente obstrucción de las rejillas de desagüe de las redes de alcantarillado han contribuido a que las zonas urbanas y agrícolas del Area Metropolitana de Barcelona sufran, por tercera vez en 6 años, las consecuencias catastróficas de las inundaciones.
7. Las remodelaciones efectuadas en diversos puntos del sistema de desagüe del Area Metropolitana de Barcelona, junto con los trabajos de limpieza de cauces de rieras efectuados durante el verano de 1988, han contribuido de manera eficaz a evitar que se vuelvan a producir algunas de las inundaciones ocurridas durante los episodios de intensas lluvias de octubre de 1987 y noviembre de 1983. Las obras de remodelación de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat constituyen uno de los ejemplos más ilustrativos del enorme éxito alcanzado en la prevención de las inundaciones que tradicionalmente se registraban en este municipio del Area Metropolitana de Barcelona.
8. La prevención de los efectos catastróficos que produciría un nuevo episodio de lluvia similar al de noviembre de 1988, octubre de 1987 o noviembre de 1983, requiere la implantación de un programa de medidas correctoras como el propuesto en este estudio. Las medidas correctoras propuestas pueden agruparse en dos grandes categorías: de una parte, las obras de restitución y mejora de los cauces de las rieras, de las estructuras de cruce con vías de

comunicación, y de los dispositivos de desagüe, y de otra parte, un programa de limpieza y mantenimiento del cauce de las rieras que las mantenga libres de escombros, basura y vegetación.

9. Aunque este segundo tipo de actuación es el que tiene una relación beneficio/coste más favorable de los dos propuestos, no será suficiente para reducir de forma sustancial y permanente el riesgo real de inundación que actualmente pesa sobre numerosas zonas del Area Metropolitana de Barcelona. Por otra parte, todas estas actuaciones deberían encuadrarse en un nuevo estilo de gestión de los sistemas de drenaje, basado en un mayor respeto a los principios de hidrología urbana y rural, y en una eliminación eficaz de los vertidos de basuras y escombros en los cauces de las rieras.
10. Existe una evidente desproporción entre el presupuesto de algunos de los proyectos de canalización elaborados por la EMSHTR y la escasa elaboración de los datos experimentales utilizados para determinar la lluvia de diseño adoptada en cada caso. Aunque los datos hidrológicos disponibles son escasos y de fiabilidad limitada, los métodos de cálculo utilizados y, en especial, su aplicación práctica pueden ser notablemente mejorados.
11. La información hidrológica disponible permite afirmar que las lluvias registradas en noviembre de 1988, octubre de 1987, noviembre de 1983 y noviembre de 1982 tuvieron un carácter excepcional y por tanto cabe lógicamente admitir que pudieran llegar a producir inundaciones. Por otra parte, esta misma información histórica permite estimar unos períodos de retorno para las lluvias consideradas en diversos de los proyectos elaborados por la EMSHTR que son de 5 a 10 veces superiores a los períodos de retorno indicados en dichos proyectos. Aunque esto puede representar una mayor protección frente al riesgo de inundación, significa también una inversión superior a la que correspondería a los objetivos deseados.
12. En contraste con la subida generalizada del nivel freático que se registró en las zonas bajas del delta del Llobregat durante la lluvia de octubre de 1987, las lluvias de noviembre de 1988 no produjeron un aumento apreciable del mismo. No obstante, existe el peligro potencial de que en futuros episodios de intensas lluvias pueda reproducirse el ascenso del nivel freático que se observó los meses siguientes a las lluvias de octubre de 1987, con lo que ello significaría de perjuicios a las explotaciones agrícolas y edificios urbanos, y de peligro sanitario para las zonas urbanas y turísticas de la franja costera del delta del Llobregat.

RECOMENDACIONES

Los resultados y conclusiones obtenidos de este estudio permiten formular las siguientes recomendaciones:

1. La implantación de un programa de medidas correctoras como el propuesto en este estudio permitiría evitar que vuelvan a producirse numerosas pérdidas humanas y cuantiosos daños materiales durante un próximo episodio de intensas lluvias como los registrados en noviembre de 1988, octubre de 1987 o noviembre de 1983.

El programa de medidas correctoras propuesto tiene un presupuesto de 2 216 millones de pesetas. De esa cantidad total, 2 190 millones de pesetas corresponden a 71 actuaciones de mejora o remodelación de diversos sistemas de drenaje, mientras que los 26 millones restantes corresponden a 35 programas de limpieza, mantenimiento y conservación de 35 cauces. Hay que resaltar no obstante que el elevado presupuesto inicial de algunas actuaciones exige la realización de un estudio de alternativas que permita definir la solución más adecuada desde el punto de vista técnico y económico.

2. La creación de una red pluviométrica en el Area Metropolitana de Barcelona como la propuesta en este estudio permitiría obtener información histórica de enorme interés práctico sobre este tipo de episodios de intensas lluvias. Estas series pluviométricas permitirían el diseño y remodelación de los sistemas de drenaje del Area Metropolitana con soluciones técnicas más adecuadas y mucho más fiables ante futuros episodios de intensas lluvias.

Una red pluviométrica integrada por 20 pluviómetros automáticos, valorados en 4 millones de pesetas aproximadamente, mantenida sistemáticamente, con un coste aproximado de 3 millones de pesetas anuales, permitiría satisfacer las exigencias establecidas en este estudio.

3. El diseño y remodelación de los sistemas de drenaje del Area Metropolitana de Barcelona debería tener en cuenta la información pluviométrica histórica disponible actualmente sobre esta zona. La utilización de estos datos pluviométricos, junto con la aplicación de modelos numéricos de escorrentía, debidamente calibrados, constituye uno de los métodos más adecuados para dimensionar los sistemas de drenaje, bien sea alcantarillados o rieras.

La experiencia llevada a cabo en El Prat de Llobregat pone claramente de manifiesto que con un estudio de este tipo,

valorado en un 0,3% del presupuesto inicial de remodelación de 1 250 millones de pesetas, se ha podido llevar a cabo la remodelación efectiva de la red de saneamiento del núcleo urbano con un presupuesto real próximo al 50% del inicialmente establecido. Estos valores, junto con la ausencia de inundaciones observada durante las lluvias de noviembre de 1988, ilustran claramente la rentabilidad económica y la fiabilidad técnica de la metodología adoptada.

REFERENCIAS

- Comisión de Urbanismo y Servicios Comunes de Barcelona y otros Municipios (1972). *Recomendaciones para la redacción de proyectos de saneamiento en la comarca*. Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos. Barcelona.
- Llasat, C. (1987). *Episodios de lluvias copiosas en Cataluña: génesis, evolución y factores coadyuvantes*. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Barcelona.
- Mujeriego, R., J.M. Jové y S. Sugranyes (1988a). *Descripción y valoración de los trabajos a realizar para aumentar la capacidad hidráulica de algunas rieras de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos*. Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos. Barcelona.
- Mujeriego, R., J.M. Jové y S. Sugranyes (1988b). *Estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante las lluvias de los días 2 a 4 de octubre de 1987*. Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos. Barcelona.
- Mujeriego, R., J.M. Jové, T. Andreu y S. Sugranyes (1986). *Estudio de la red de alcantarillado de El Prat de Llobregat mediante el modelo numérico Storm Water Management Model (SWMM)*. Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos. Barcelona.
- Mujeriego, R., J.M. Jové y T. Andreu (1985). *Estudio de las inundaciones ocurridas en la Corporación Metropolitana de Barcelona durante las lluvias de los días 6 y 7 de noviembre de 1983*. Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos. Barcelona.
- Mujeriego, R. y J. Dolz (1983). *Descripción del comportamiento del río Llobregat, en el tramo comprendido en la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante la avenida del día 8 de noviembre de 1982*. Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos. Barcelona.
- Novoa, M. (1985). *Las avenidas en Cataluña*. Tecnología del Agua. Año V, no. 19, 43-57.
- Pantecnia S.A. (1969). *Anteproyecto de saneamiento del delta del Llobregat (margen derecha)*. Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental, Ministerio de Obras Públicas, Barcelona.

- Pou, R. (1984). *El régimen de intensidades de precipitaciones en la ciudad de Barcelona*. Tesina de especialidad dirigida por el Profesor M. Novoa. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Redaño, A. (1987). *Aspectos meteorológicos e hidrológicos de la precipitación en el área urbana de Barcelona*. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Barcelona.
- Fundació Narcís Monturiol (1987). *Seminario de Hidrología Urbana*. Universitat Tècnica d'Estiu de Catalunya. Sitges, 14 a 18 de septiembre de 1987.

ANEXO 1

Planos pluviométricos de la
Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental
correspondientes a los episodios de intensas lluvias de
noviembre de 1982, noviembre de 1983, octubre de 1987 y
noviembre de 1988, y a las lluvias medias anuales de 1944 a 1980.

ANEXO 2

Planos de las zonas del
Area Metropolitana de Barcelona
en que se registraron inundaciones durante
las lluvias de los años 1983, 1987 y 1988

ANEXO 3

Municipios del
Area Metropolitana de Barcelona
en que se registraron inundaciones
durante las lluvias del día 12 de noviembre de 1988

Municipios del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante el día 12 de noviembre de 1988.

Municipio	Zona	Código
Badalona	Alrededores de la Estación de RENFE	51
Badalona	Riera Canyadó	52
Badalona	Playas	53
Barcelona	Torre Baró	106
Castelldefels	Corredera Maestra	201
Castelldefels	Zona colindante con el Apeadero de RENFE	202
Castelldefels	Paso inferior de la Avenida de la Pineda	203
Castelldefels	Bellamar	205
Gavà	Zonas urbanas y agrícolas de la riera dels Parets.	401
Gavà	Cruce de la carretera C-245 con la Avenida de Joan Carles I	402
Gavà	Zonas ubicadas entre la carretera C-245 y la Autovía de Castelldefels	404
Gavà	Zonas urbana y agrícola cercanas a la riera de Sant Llorenç	405
Gavà	Alrededores de la calle Bertrán i Güell	407
Molins de Rei	Alrededores del puente de la carretera de Caldes de Montbui	601
Molins de Rei	Alrededores del Torrent d'en Benet	602
Molins de Rei	Alrededores de la riera Can Paissa	603
Molins de Rei	Calle Riera Mariona	604
Molins de Rei	Alrededores del Torrent de Can Sant Tomàs	605
Molins de Rei	Alrededores de la autopista A-2	606

Municipios del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante el día 12 de noviembre de 1988. (Continuación).

Municipio	Zona	Código
Montcada i Reixac	Polígono Industrial Can Cuyàs	708
Montcada i Reixac	Carretera de acceso a la barriada de Can Joan	709
Mongat	Riera d'en Font	751
Mongat	Playas	752
Mongat	Calle Sant Jordi	753
Mongat	Carretera de Mongat a Tiana	754
Mongat	Turó de Mongat, carretera N-II	755
Pallejà	Zona urbana aguas abajo de la carretera nacional N-II	801
Pallejà	Zonas próximas al cruce de la Riera Boter con la Carretera N-II	804
El Papiol	Alrededores del Torrent Batsacs	901
El Papiol	Calle Brasil, Pasaje Peu de la Costa	902
El Prat de Llobregat	Zona comercial aguas arriba de la Autovía de Castelldefels	1001
Sant Adrià del Besós	Barrio La Catalana	1051
Sant Adrià del Besós	Calle Moratín, bajo la autopista A-19	1052
Sant Boi de Llobregat	Zona urbana próxima a la carretera BV-2002	1101
Sant Boi de Llobregat	Zonas rural y urbana de la parte alta del núcleo urbano	1105
Sant Boi de Llobregat	Zonas forestal y urbana en la parte alta del núcleo urbano (Can Pinyol)	1106
Sant Boi de Llobregat	Carretera C-245 y zona industrial contigua	1107
Sant Climent de Llobregat	Zonas del núcleo urbano en las proximidades de la riera	1151

Municipios del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante el día 12 de noviembre de 1988. (Continuación).

Municipio	Zona	Código
Sant Cugat del Vallès	Zona agrícola aguas abajo del núcleo urbano	1202
Sant Feliu de Llobregat	Alrededores del Torrent del Terme	1301
Sant Feliu de Llobregat	Alrededores de la riera de la Salut	1302
Sant Feliu de Llobregat	Plà del Llobregat	1303
Sant Feliu de Llobregat	Cruce de la riera de Sant Just con la vía férrea	1304
Sant Feliu de Llobregat	Calle Agricultura	1305
Sant Feliu de Llobregat	Alrededores de la autopista A-2	1306
Sant Joan Despí	Fontsanta	1401
Sant Joan Despí	Tramo final del canal de desagüe de la margen izquierda del río Llobregat	1402
Sant Joan Despí	Tramo final de la Riera d'en Nofre	1403
Sant Vicenç dels Horts	Polígono Industrial próximo al cruce de Cuatro Caminos	1502
Sant Vicenç dels Horts	Alrededores de las calles Girona y Barcelona	1503
Sant Vicenç dels Horts	Zona baja del núcleo urbano	1506
Sant Vicenç dels Horts	Puente de la carretera BV-2002 sobre la riera de Cervelló	1507
Santa Coloma de Cervelló	Alrededores de la línea férrea de los Ferrocarriles de la Generalidad	1602
Santa Coloma de Cervelló	Línea férrea Barcelona-Martorell y zona industrial adyacente	1603

Municipios del Area Metropolitana de Barcelona en que se registraron inundaciones durante el día 12 de noviembre de 1988. (Continuación).

Municipio	Zona	Código
Santa Coloma de Cervelló	Camino de acceso a la zona agrícola próxima a la línea Barcelona-Martorell	1604
Santa Coloma de Gramanet	Calle Mosen Cinto Verdaguer	1701
Santa Coloma de Gramanet	Zona deportiva próxima a la Avenida Pallaresa	1702
Viladecans	Núcleo urbano y zona agrícola del delta del Llobregat	1801
Cervelló	Zonas agrícola y de equipamientos en la parte baja del núcleo urbano	2001
Corbera de Llobregat	Zona de equipamientos en la parte baja del núcleo urbano	2101
La Palma de Cervelló	Zona urbana próxima a la riera	2201
Vallirana	Zona urbana próxima a la carretera N-240	2301

ANEXO 4

Formularios de registro de datos
correspondientes a los municipios del
Area Metropolitana de Barcelona
en que se registraron inundaciones
durante el día 12 de noviembre de 1988.