



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

## PROGRAMA DE I+D EN GEOLOGIA AMBIENTAL

ESTUDIO DE AVENIDAS EN LA CUENCA  
ALTA DEL RIO FRANCOLI (TARRAGONA)  
MAPAS DE PELIGROSIDAD POR INUNDACION.



AREA DE INGENIERIA GEOAMBIENTAL

01183

**PROGRAMA DE I + D EN GEOLOGIA AMBIENTAL**

**INUNDACIONES**

**ESTUDIO DE AVENIDAS EN LA CUENCA ALTA DEL  
RIO FRANCOLI (TARRAGONA). MAPAS DE  
PELIGROSIDAD POR INUNDACION.**

Este proyecto ha sido realizado en colaboración entre el Servei Geològic de Catalunya (SGC) y el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), dentro del Programa de I + D en Geología Ambiental de este último Organismo.

El trabajo se ha llevado a cabo por el siguiente equipo técnico:

- Jordi Pujadas i Ferrer

Geólogo. Máster en Ingeniería Geológica y Ambiental.  
Servei Geològic de Catalunya.

- Daniel Barettino Fraile

Ingeniero de Minas.  
Area de Ingeniería Geoambiental del ITGE.

## INDICE

RESUMEN.....	1
1.JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	2
2.OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	4
3.ANTECEDENTES.....	6
4.METODOLOGIA.....	9
5.CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CUENCA.....	11
6.AVENIDAS HISTORICAS.....	13
7.MODELO HIDROLOGICO.....	16
7.1 Introducción.....	16
7.2 Método estadístico. El cálculo de los caudales máximos de avenida.....	16
7.3 Método hidrometeorológico.....	19
7.3.1 Subdivisión de la cuenca.....	19
7.3.2 Régimen de precipitaciones máximas.....	19
7.3.3 Esquema hidrológico.....	26
7.3.4 Cálculo hidrometeorológico de los caudales de avenida.....	26
7.3.5 Calibrado de los resultados.....	32
8.ANALISIS HIDRAULICO.....	40
8.1 Sector de Vilavert.....	40
8.1.1 Cálculo de la sección 4.....	42
8.1.2 Avenidas históricas.....	46
8.2 Sector de L'Espluga.....	48
8.2.1 Avenidas históricas.....	53
9.DINAMICA FLUVIAL Y DE VERTIENTES.....	55
9.1 Sector de Vilavert.....	55
9.1.1 Formaciones superficiales.....	55
9.1.2 Dinámica de vertientes.....	56
9.2 Sector de L'Espluga.....	57
9.2.1 Las formaciones superficiales.....	58
9.2.2 Morfología de las cuencas.....	58
9.2.3 Dinámica de vertientes.....	61
10.MAPAS DE RIESGO POR INUNDACION.....	62
10.1 Trazado de los mapas.....	62
10.2 Grado de fiabilidad.....	63
10.3 Utilidad del mapa.....	64
10.4 Inventario de puntos problemáticos.....	66
10.4.1 Sector de Vilavert.....	66
10.4.2 Sector de L'Espluga.....	67
11.CONCLUSIONES.....	70
12.BIBLIOGRAFIA.....	72

## ANEXOS

1. Curvas de descarga del sector de Vilavert.
2. Curvas de descarga del sector de L'Espluga.
3. Fotografías de Vilavert.
4. Fotografías de L'Espluga.

.../...



## PLANOS

1. Secciones transversales del río Francolí en el sector de Vilavert.  
Altura de agua para las diferentes avenidas calculadas.
2. Secciones transversales del río Francolí en el sector de L'Espluga.  
Altura de agua para las diferentes avenidas calculadas.
3. Sección longitudinal del río Francolí a su paso por L'Espluga.  
Altura de agua para la avenida de 500 años.
4. Sección longitudinal del río Francolí a su paso por L'Espluga.  
Altura de agua para las diferentes avenidas calculadas.
5. Mapa de peligrosidad de inundación y riesgos asociados  
del sector de Vilavert (escala 1:5.000).
6. Mapa de formaciones superficiales y de peligrosidad de inundación  
y riesgos asociados del sector de L'Espluga (escala 1:5.000)
7. Mapa de peligrosidad de inundación en L'Espluga (escala 1:1.000).

**RESUMEN.**

El proyecto consiste en la realización de un estudio de avenidas en la cuenca alta del río Francolí y la realización de dos mapas de peligrosidad en las localidades de L'Espluga de Francolí y Vilavert situadas en dicha cuenca. Utilizando métodos estadísticos, hidrológicos, geomorfológicos e hidráulicos se han definido las zonas inundables a escalas 1.1000 y 1.5000. También se consideran las avenidas históricas y se calculan sus caudales y las zonas afectadas por las mismas. Estos mapas son una herramienta muy útil destinada a la planificar el territorio con conocimiento de las zonas afectables por las avenidas.

## 1. JUSTIFICACION DEL PROYECTO.

Las avenidas son un fenómeno natural recurrente que provoca grandes pérdidas económicas y de vidas humanas. Tan sólo en los dos últimos decenios las pérdidas en España se cifran en más de medio billón de pesetas y las víctimas son más de setecientas (11). La ocupación humana de las llanuras de los ríos entra en conflicto muchas veces con las servidumbres hidráulicas de estas zonas. Estos conflictos se manifiestan en su máxima intensidad cuando la evacuación de los importantes caudales de avenida precisa de la total inundación de las zonas de servidumbre hidráulica.

La mitigación de este problema se plantea básicamente en tres líneas: el control de la dinámica fluvial mediante medidas estructurales (regulación, encauzamiento...), predicción en tiempo real y planificación del uso de las zonas inundables (mapas de peligrosidad). La planificación de las zonas inundables es la técnica que permite mitigar los riesgos de avenidas de la forma más económica y eficaz regulando, en la medida de lo posible, la ocupación de zonas peligrosas. El control legal de las zonas inundables esta recogido genéricamente en la Ley de Aguas (Real Decreto 849/1986, art.14). La cartografía de riesgos es un instrumento básico que puede permitir la concreción de esta norma general a las características de cada cuenca fluvial con el objeto de conseguir una mejor gestión de las zonas inundables. Asimismo este conocimiento al reflejarse en las normativas municipales (planes de urbanismo...) posibilitará una mejor regulación de las zonas inundables.

Este proyecto pretende caracterizar el fenómeno de las avenidas en los municipios de L'Espluga de Francolí y Vilaverd (Conca de Barberà, Tarragona). Estas localidades se consideran de riesgo medio (4) si bien han sido históricamente afectadas por importantes avenidas. El presente proyecto permitirá un conocimiento detallado de estas avenidas catastróficas y la visualización de los diferentes grados de peligrosidad en estos municipios. Asimismo se prodrán conocer los puntos conflictivos de

la llanura aluvial y establecer unas directrices que permitan a los planificadores mejorar los usos presentes y futuros de las mismas.

## 2.OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO.

El objetivo de este proyecto es el estudio de las avenidas en la cuenca alta del río Francolí (Conca de Barberà, Provincia de Tarragona) con cierre en el estrecho de La Riba y la realización de mapas de peligrosidad por inundación en las localidades de L'Espluga y Vilavert (Fig. 1), situadas en esta cuenca.

Para conseguir este objetivo principal es necesario cumplir los siguientes objetivos secundarios:

- 1.-Caracterizar las precipitaciones causantes de las avenidas, así como su frecuencia y probabilidad de ocurrencia.
- 2.-Definir un modelo hidrológico que permita establecer una relación cuantitativa entre las precipitaciones y los caudales.
- 3.-Definir los caudales máximos previsibles para diferentes probabilidades de ocurrencia (periodos de retorno).
- 4.-Establecer un modelo hidráulico que defina las alturas de la lámina de agua para los diferentes caudales de avenida.
- 5.-Estudiar las formaciones superficiales y la morfología de río para caracterizar la dinámica fluvial y reconocer las dinámicas naturales que puedan entranar riesgos asociados a las avenidas (deslizamientos y avalanchas).
- 6.- Realizar un proceso de síntesis de toda la información que nos lleve a un conocimiento detallado del fenómeno de las avenidas en los segmentos estudiados y a la confección de los mapas de peligrosidad.

La finalidad de este proyecto es la de dotar a los planificadores de una herramienta que permita evaluar la peligrosidad de las avenidas, definiendo las zonas inundables, para así evitar los problemas derivados de este desconocimiento en la ordenación del territorio y en el dimensionamiento de infraestructuras.

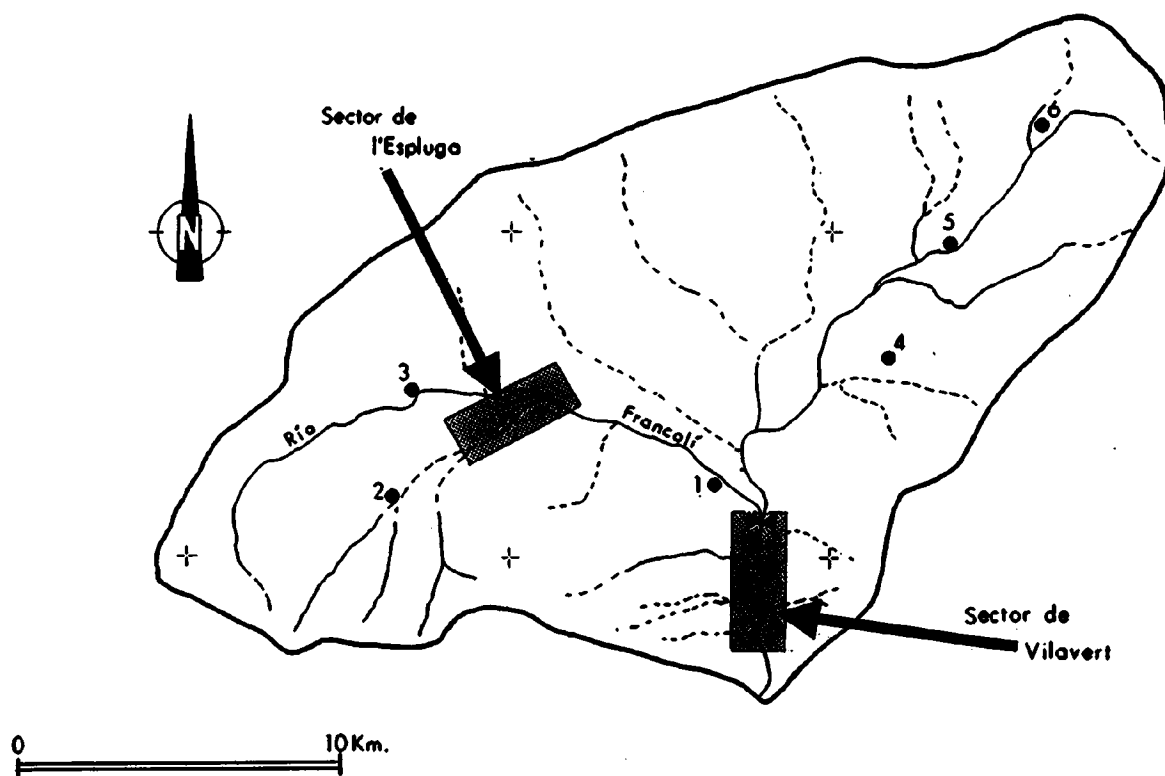


Figura 1.- Mapa sintético de la red fluvial de la cuenca alta del río Francolí. Los puntos negros indican la situación de las estaciones meteorológicas: 1-Montblanc, 2-Riudabella, 3-Vimbodí, 4-Barberà, 5-Sarrià y 6-Rocafort; los triángulos unidos por el vértice indican la situación de la estación de aforos de Montblanc. Los recuadros grises indican las zonas donde se han realizado los mapas de peligrosidad.

### 3. ANTECEDENTES.

Este proyecto se enmarca dentro de los estudios de previsión de catástrofes naturales. Las avenidas han sido objeto de estudio desde varias disciplinas que por separado han estudiado los sistemas fluviales. La geomorfología, la hidrología y la sedimentología han analizado el problema desde ópticas diferentes, consiguiendo unas visiones parciales.

El desarrollo de mapas de riesgos de avenidas que permitan una visualización espacial de las zonas inundables ha supuesto un paso muy importante en los estudios de riesgo. La metodología de estos mapas ha evolucionado lentamente y aún queda mucho por hacer para superar los problemas de obtener una buena definición de las zonas inundables. El aspecto más positivo de esta técnica es que necesita para conseguir buenos resultados de una aproximación multidisciplinar que permita superar los enfoques sectoriales antes citados.

Los estudios de avenidas en España tiene poca tradición y no es hasta la década de los 80 que se inician programas regionales de estudio de avenidas. La primera referencia legal a estos estudios la encontramos en la antigua Ley de Aguas de 1879 donde se encomiendan al antiguo Ministerio del Fomento la realización de trabajos de encauzamiento y otros para evitar las inundaciones. Posteriormente se desarrollaron tres programas que trataron directa o indirectamente este tema, estos són:

-Servicio de Previsión de avenidas. Este programa se desarrolla a partir de los años 60. Definió una metodología para detectar avenidas capaces de producir danos mediante un sistema de conexión de puntos de control (puntos activos) con un punto de toma de decisiones, la conexión entre puntos se realiza por teléfono. Constituye un primer intento de establecer un sistema de alarma en tiempo real.



-Inventario de Puntos negros en cauces (1975). Se realizó un primer inventario de puntos problemáticos (definidos por su probabilidad de ocurrencia y riesgo) en todas las cuencas hidrográficas.

-Planes Hidrológicos. El objetivo de estos planes es la de regular y planificar el uso del agua. Estos planes incluyen un estudio de avenidas ("Estudio de máximas crecidas y sequías"). Estos se centran en el cálculo de los caudales máximos de avenidas según varios periodos de retorno para las diferentes cuencas.

Después de las importantes avenidas en la vertiente mediterránea de la península del año 1982 y en la zona cantábrica del año 1983, la Comisión Nacional de Protección Civil acuerda la creación de una Comisión Técnica de Inundaciones para establecer una política de prevención en las zonas con riesgo de avenidas. Se actualiza el "Inventario de puntos negros en cauces" (C.T.I. 4). Se desarrollan proyectos como el "Análisis General de las Inundaciones en la Península" (MOPU 1984) o los "Estudios de las acciones para prevenir y reducir los danos ocasionados por las inundaciones" (C.T.I. 1983). Estos proyectos son básicamente inventarios de zonas conflictivas y de las acciones correctoras a emprender. Actualmente se desarrolla el "Sistema Automático de Información Hidrológica" (SAIH) que ya ha entrado en funcionamiento en la zona de Valencia.

Paralelamente el ITGE (10,12,13,14,15 y 16), por encargo de diversas Administraciones (diputaciones, ayuntamientos...) ha desarrollado diversos proyectos de cartografía de riesgos a escalas provinciales (1:200.000) y municipales (1:5000). Estos mapas son los primeros mapas de riesgo que se representan zonas inundables con periodos de recurrencia.

La ley de Aguas (R.D. 849/1986) en su definición de las zonas inundables (art. 14 punto 3) permite una regulación de las mismas por el Gobierno del Estado o los Gobiernos Autonómicos. La

cartografía de riesgos de inundación es un instrumento de gran utilidad para el desarrollo de esta normativa. La regulación de las zonas inundables implicará una mejor gestión de las mismas que permitirá una mitigación de los riesgos de avenida.

#### 4. METODOLOGIA.

Para la realización de este proyecto se han utilizado varias metodologías.

Se ha realizado un estudio estadístico de las series de caudales máximos (45 años de registro, 1 estación de aforo) y de pluviometría (50 años de registro, 7 estaciones pluviométricas) para definir los valores de precipitación en 24 horas y caudal máximo instantáneo para periodos de retorno de 5, 25, 100 y 500 años.

Se ha realizado un modelo hidrometeorológico (método de Témez) de la cuenca a partir de sus características físicas utilizando las fotografías aéreas de diversos vuelos e imágenes del satélite SPOT-1. Este modelo ha permitido obtener unos valores de caudal máximo de avenida partiendo de la serie de estadística de precipitaciones máximas diarias.

Los valores de caudal obtenidos con el método hidrometeorológico han sido calibrados con los datos estadísticos en la estación de aforos de Montblanc. Los valores calibrados han permitido obtener valores fiables de caudal para los tramos del río estudiados.

A partir de los datos obtenidos y de los valores históricos se ha procedido a realizar un modelo hidráulico de los tramos mapeados. La modelización se ha realizado asumiendo en algunos tramos un régimen hidráulico gradualmente variado y en otros un régimen uniforme y se ha aplicado la fórmula de Manning a 25 secciones de control.

Paralelamente se ha procedido a un estudio geomorfológico de los sectores cartografiados (Fig.1), levantando un mapa de terrazas, formaciones superficiales y dinámica de vertientes. Este

estudio ha puesto de manifiesto una importante dinámica de vertientes que ha condicionado en diversos momentos el trazado del río y la disposición de sus depósitos.

Finalmente, y como síntesis de todos estos resultados, se han representado a escalas 1.1000 y 1.5000 las zonas inundables para los períodos de retorno definidos. Se han representado, asimismo, los movimientos de ladera y los niveles de inundación históricos.

El uso conjunto de diversas aproximaciones ha posibilitado un trabajo de síntesis que matiza los resultados obtenidos por cada método, y da una mayor fiabilidad a éstos. Esta mayor precisión permite la realización de mapas a una escala mayor que la usada habitualmente en estos proyectos.

## 5. CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CUENCA.

La cuenca alta del Francolí coincide básicamente con la comarca administrativa de la Conca de Barberà, concretamente la cuenca alta se denomina habitualmente "Conca estricta" para diferenciarla de la Conca administrativa que incluye zonas vertientes a otras cuencas fluviales. La cuenca alta o "Conca estricta" es una depresión en materiales terciarios, poco resistentes, limitada por relieves de la cordillera prelitoral al Sur y al SE y en el sector Norte por materiales terciarios calizos más resistentes. Los materiales terciarios de la cuenca alta se incluyen dentro de las formaciones terciarias de la cuenca del Ebro, presentan un suave buzamiento hacia el NW. Estos materiales son básicamente margas alternadas con niveles detríticos, yesíferos y calizos. Las montañas situadas en el borde sur y suroccidental (Sierras de Prades y Miramar) están formadas por rocas de edad paleozoica (pizarras y granitos) y rocas de edad mesozoica (calizas, areniscas y arcillas). Esta es la zona con elevaciones máximas que llegan hasta más de 1000 metros, la zonas de la depresión presentan cotas entre los 300-600 metros.

La red de drenaje presenta un fuerte contraste entre la zona de la cordillera prelitoral y la zona de la depresión de materiales terciarios (Fig. 1). En la zona de la sierra de Prades la red está mucho más incidida y organizada debido a las fuertes desniveles existentes. Al pie de estos desniveles, en la zona de cambio de pendiente, se desarrollan diversos sistemas de conos de deyección que enlazan con las terrazas del río Francolí. La red de drenaje en la zona de la depresión está poco encajada y su trazado está condicionado en parte por la disposición de los niveles más importantes de areniscas o conglomerados cenozoicos. La red en esta zona está fuertemente modificada por la construcción de bancales en el lecho de muchos barrancos que evitan la concentración de la escorrentía superficial.

Los suelos en las zonas montañosas de Prades y Miramar están poco desarrollados son básicamente litosoles con pocos centímetros

de espesor. En la zona de la depresión se desarrollan suelos más potentes de granulometrías francoarcillosa o francolimosa. En las vertientes más escarpadas se desarrollan litosoles con los horizontes húmicos decapitados.

Los usos del suelo son mayoritariamente agrícolas. Este uso ha producido una fuerte modificación del paisaje con la construcción de bancales o muros de piedra paralelos a la topografía. Estos bancales juegan un papel muy importante en el control de la escorrentía superficial como ya destacó CALVET (3). La agricultura en este sector es de secano y se cultiva básicamente la vid y los cereales. En zonas de montaña también existe un fuerte desarrollo de bancales, que limitan campos de cultivo mayoritariamente abandonados. En estas zonas se desarrolla una vegetación de monte bajo con pinos. Las zonas de bosque corresponden en gran parte a terrenos agrícolas abandonados, o a montículos rocosos; los bosques bien desarrollados se encuentran únicamente en el sector de las sierra de Prades.

## 6. AVENIDAS HISTORICAS

En la cuenca del Francolí existe constancia de dos avenidas catastróficas (1874 y 1930).

La avenida del 23 de Setiembre de 1874, conocida com "Aiguat de Santa Tecla" es la que se recuerda como de mayor intensidad por sus desperfectos. IGLESIES (7) presenta una crónica detallada de esta catástrofe. Las máximas intensidades de precipitación se produjeron en las comarcas del Camp de Tarragona, el litoral del Penedés, la Conca de Barberá y el Urgell. Según este autor el número total de víctimas fue de 570 i se destruyeron mas de 700 casas. Sobre los efectos de la avenida en L'Espluga nos comenta: "Las primeras noticias, que se obtuvieron de L'Espluga, afirmaban que la avenida había destruído quince casas, provocando la muerte de treinta personas y habia destruído cuatro partes del camino carretero. Un gran edificio destinado a la destilación de aguardientes, el molino situado al lado y conocido como de la Farga, habían sido totalmente destruídos. Las aguas penetraron en el cementerio y se creía que los miembros esparcidos de cadáveres, que se iban encotrando río abajo, procedían de ese fúnebre recinto. Noticias posteriores redujeron a venticuatro los ahogados en L'Espluga, once de los cuales murieron en una sola casa que destruyó el empuje del río Francolí."

A partir de los archivos del Arzobispado de Tarragona transcritos por CALVET y VALLRIBERA (2) hemos obtenido la siguiente relación de fallecidos y el motivo de su muerte:

<u>Nombre y Profesión</u>	<u>Causa del fallecimiento</u>
Antonia Teixidó	"arrancada y destruída una casa"
Juan Josa (Labrador)	"sumergido y arrastrado por las aguas que bajaron de la parte alta de la población"
José Roselló	"arrancado y destruído el molino de la Villa"
Raymunda Pomés	idem
Juan Roselló	idem
Raymunda Roselló	idem
Jose Rosell (molinero)	"sumergido y arrastrado, quedó casi destruído el molino de los frailes"
Josefa Rosell	idem
Carme Rosell	idem
Carme Vernet	idem
José Miró	"arrancada y destruída una casa"
Antoni Moix (Labrador)	"arrancada y destruída una casa"
Josefa Marsal	idem




Antoni Moix  
 Teresa Moix  
 María Arbós  
 Juan Padró (albanil)  
 María Angela Odena  
 José Casanovas  
 Lluís Sarrí

idem  
 idem  
 "casi arruinada una casa"  
 "arrastrado por aquellas aguas"  
 idem  
 "destruida una casa"  
 —

Según estos datos se destruyeron dos molinos (Molí de la Vila y Molí dels Frares) y cinco casas, las muertes ascienden a 20 personas. Es importante observar que una de las muertes se produjo "por las aguas que bajaron de la parte alta de la población" de esto se desprenden que las aguas de escorrentía que circularon a través de la población fueron importantes.

En los archivos municipales se ha encontrado una escrito del 13 de Agosto de 1876 en el que se inician gestiones para "componer las paredes del Cementerio y reconstruir el puente destruido por la avenida del 23 de Setiembre de 1874". La reconstrucción de la pared del cementerio y del puente de la Font Baixa se realizó el año 1878.

En la Font Major de L'Espluga se encuentra una placa que marca el nivel máximo de las aguas, está situada a 2.5 del lecho del río. En la placa figura la siguiente inscripción:

"Hasta la señal  que precede llegó el agua en la avenida de los dos ríos acaecida en 23 de Septiembre de 1874. Llevo los puentes de esta población, algunas casas i 23 personas. Llevo también este almacén causando a la compañía 4000 duros de perjuicio - Triste recuerdo nos ha quedado de esta noche espantosa catalanes que son sens número los millones perdidos i a cientos los cadavers! "

A partir de esta marca se ha calculado un caudal para esta avenida de 500 m<sup>3</sup>/s (ver capítulo de análisis hidráulico).

En resumen, deducimos cuantiosos daños para esta avenida en L'Espluga: se produjeron alrededor de 20 víctimas, se destruyeron dos puentes, tres molinos, una fábrica-almacén, los muros del cementerio y varias casas.

cementerio y varias casas.

Los datos de esta avenida en el sector de Vilavert son muy escasos. Según IGLESIES (Ob. cit.) se destruyó un puente de la vía férrea (probablemente fué el de la Roca Xanxa que presenta evidencias de reconstrucción en la unión del fuste con las pilas). En la masía de La Farga se halla una placa que marca el nivel máximo de la avenida, está situada a 8.5 metros sobre el lecho del río. Esta marca indica que se produjo un importante represamiento de las aguas en este sector (ver capítulo de análisis hidráulico, avenidas históricas), este fenómeno nos impide calcular el caudal en esta sección.

La avenida del 18-19 de Octubre de 1930, conocida como "Aiguat de Sant Lluc" registró unos caudales mayores si bien la informaciones sobre esta avenida son escasas. En Montblanc se registró una precipitación de 348 mm. (IGLESIES 7, citando datos del Servei Metereològic de Catalunya). En L'Espluga existe un dato de altura en el Molí d'en Guasch, se ha calculado para esta cota un caudal de 650 m<sup>3</sup>/s.

En el Sector de Vilavert (puente de La Fusta) existe otra marca de nivel para la que MONTALBAN y NOVOA (17) calculan un caudal de 1094 m<sup>3</sup>/s. Las personas consultadas en Vilavert no aportaron datos concretos respecto a esta avenida pero coincidían en señalar que el río modificó intensamente el cauce aumentando mucho su sección.

La avenida de 1930 (Aiguat de Sant Lluc), según se discute en el análisis hidráulico, tuvo un caudal mayor que la de 1874. Es sorprendente que la avenida de 1930 causó danos y pérdidas inferiores y su recuerdo, a pesar de la existencia de testigos vivos, es menor. En L'Espluga, donde existe mayor documentación, esto es evidente. La explicación de este hecho creemos que se halla en el abandono, a principios de siglo, de las actividades tradicionales asociadas al río (molinos...). Esto repercutió en una disminución de la vulnerabilidad y por tanto las pérdidas frente una avenida de magnitud superior fueron mucho menores.

## **7. MODELO HIDROLOGICO**

### **7.1. Introducción.**

El objetivo del modelo hidrológico es establecer los caudales previsibles para distintos períodos de retorno en diversos puntos del sistema fluvial.

Este modelo se puede realizar, en condiciones óptimas en las que se disponga de una red de estaciones de aforo densa, con un tratamiento estadístico de los datos para definir los valores extremos de caudal por período de retorno. En el caso de inexistencia de estaciones de aforo el método hidrometeorológico permite estimar indirectamente los caudales máximos a partir de los valores de precipitaciones máximos de la cuenca. Este método asume que los caudales para un período de retorno dado se generan con las precipitaciones con idéntico período de retorno.

En esta cuenca disponemos de una red densa de estaciones de pluviometría y de una única estación de caudal. Para la realización del modelo se han utilizado ambos métodos y se han comparado los resultados obtenidos procediéndose a un calibrado del modelo hidrometeorológico a partir de los valores de caudal obtenidos con el tratamiento estadístico de la serie de datos de aforo en la estación de Montblanc.

### **7.2. Método estadístico. El cálculo de caudales máximos de avenida.**

En este trabajo se consideran los períodos de retorno de 5, 25, 100 y 500 años para el cálculo de los caudales máximos de avenida.

Se parte de los datos de las caudales máximos anuales instantáneos obtenidos a partir del registro del limnógrafo de la estación de aforos. Se dispone de un único limnógrafo en la cuenca, situado en la estación de aforos de Montblanc, con un registro de 42 años (1945-1987)(Tabla 1). La serie de datos se ha tratado estadísticamente. Se ha procedido al relleno estadístico de la

Año	Caudal (Instantáneo)
1945-46.....	19.2
1946-47.....	6.3
1947-48.....	20.3
1948-49.....	118.7
1949-50.....	6.6
1950-51.....	36
1951-52.....	52.3
1952-53.....	30.9
1953-54.....	30.9
1954-55.....	6.7
1955-56.....	37.1
1956-57.....	36
1957-58.....	3.5
1958-59.....	102
1959-60.....	56.1
1960-61.....	21.1
1961-62.....	34.9
1962-63.....	33
1963-64.....	68
1964-65.....	44
1965-66.....	79
1966-67.....	10
1967-68.....	47
1968-69.....	43
1969-70.....	26.5
1970-71.....	192
1971-72.....	40.4
1972-73.....	7.1
1973-74.....	24.5
1974-75.....	8.2
1975-76.....	41.8
1976-77.....	18
1977-78.....	4
1978-79.....	9.5
1979-80.....	4
1980-81.....	18
1981-82.....	16
1982-83.....	12
1983-84.....	380
1984-85.....	3.2
1985-86.....	1.5
1986-87.....	0.8

Tabla 1.- Serie anual de máximos valores de caudal instantáneo para la estación de aforos de Montblanc (punto nº4). Los valores en negrilla corresponden a las lagunas en la serie se han rellenado según se indica en el texto.

serie de datos, los años sin registro se han completado con valores que respetan los estadísticos de la serie.

Para obtener los valores de caudal máximo se utiliza una ley de distribución de valores extremos que defina la frecuencia con que un determinado valor de caudal no es superado. Esta frecuencia se expresará como período de retorno que se define como: "un valor de caudal tiene un período de retorno T cuando, como media, es superado una vez cada T años". La ley de distribución de valores extremos utilizada es la de doble exponencial de Gumbel, de uso habitual para estos problemas. A partir de esta ley se obtienen los valores de caudal esperables para los períodos de retorno considerados (5, 25, 100 y 500 años) para esta estación. Los resultados obtenidos se representan en la tabla 2.

CAUDAL POR PERIODO DE RETORNO	
Periodo de retorno	Caudal
5 años	88.1 m <sup>3</sup> /s
25 años	173.7 m <sup>3</sup> /s
100 años	244.3 m <sup>3</sup> /s
500 años	325.6 m <sup>3</sup> /s

Tabla 2.- Caudal por periodo de retorno en en punto 4 (estación de aforos de Montblanc).

### 7.3. Método hidrometeorológico.

#### 7.3.1. Subdivisión de la cuenca

La cuenca se ha subdividido en varias subcuencas para proceder al cálculo de caudales en el cierre de cada una de ellas (Fig.2). El grado de subdivisión utilizado es mayor en las zonas donde se realizarán los mapas ya que es allí donde interesa obtener un mayor número de valores de caudal.

#### 7.3.2. Régimen de precipitaciones máximas.

Se pretende calcular los valores de precipitaciones máximas diarias para los períodos de retorno de 5, 25, 100 y 500 años. Se dispone de 6 pluviómetros en la cuenca con un registro de 38 años (1951-1987)(Tabla 3). Para cada pluviómetro hemos obtenido una serie de las precipitaciones máximas anuales en intervalos de 24 horas. El procedimiento de cálculo es idéntico al utilizado para los caudales, mediante la utilización de una función de distribución de valores extremos de Gumbel. Los resultados obtenidos se representan en la tabla 4.

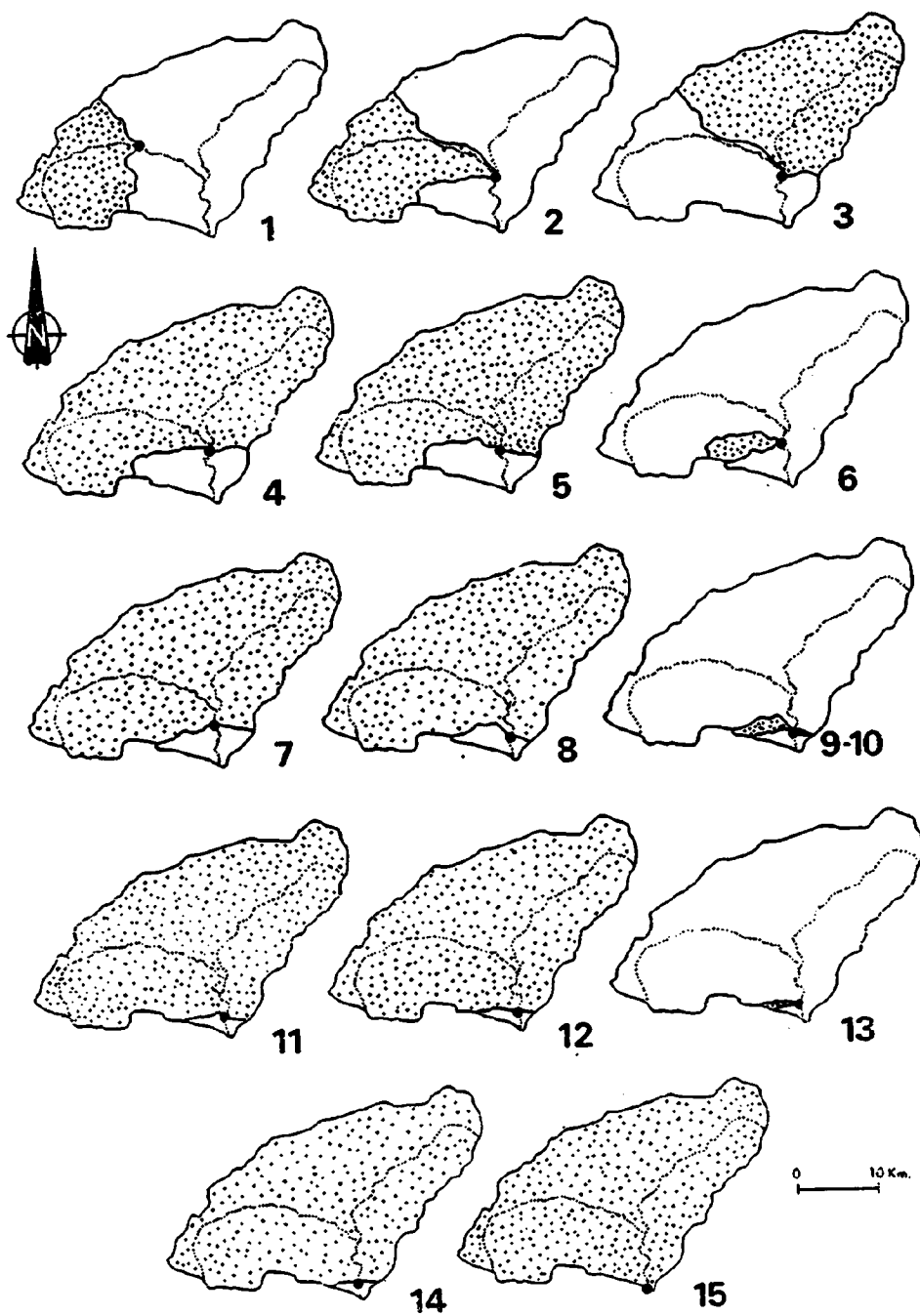


Figura 2.- Subdivisión de la cuenca. Los mapas representan cada punto de cierre considerado en el modelo hidrológico, la trama punteada indica el sector de cuenca vertiente a cada punto.



## SERIE ANUAL DE MAXIMOS DE PRECIPITACION EN LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS (mm/dia).

ANO	Montb.	Serral	Rocaf.	Barbarà	Vimbodí	Riudab
1951	41.8	50	39.8	32.5	66.5	79.6
1952	53.8	38	53.4	43.5	78.2	90.3
1953	69.7	70	41.8	52.6	75.7	101.1
1954	61.9	35	36	56	71.7	103.6
1955	47	52.5	36.6	39.5	55.3	87.1
1956	62	28	32.8	65	80	112.5
1965	52	47	47.1	86	44	50
1958	47	57	60.7	57	57.5	84
1959	49.8	49	74.1	97	113.7	140
1960	57	49	55.2	50.5	56	85
1961	80.5	37	32.1	64.8	103	66
1962	70	73	60.4	78	85	75
1963	49.8	48	63.4	62	69.8	100
1964	77.2	50	39.2	36	87	125
1965	71.8	62	56.4	51	89	96
1966	34.7	25	31.7	36.9	43.6	50
1967	70.4	50	43.4	65	69.2	109
1968	39.6	25	36.2	58	51.2	96.3
1969	54.3	60	47.2	72	73.4	145
1970	81.5	80	60.7	54	83	230

Tabla 3

.../...

ANO	Montb.	Sarral	Rocaf.	Barbara	Vimbodi	Riudab.
1971	98.2	53	42.7	59.4	113	96
1972	57.2	49	49	62	65	70
1973	50.3	39	43.8	142	53.4	53
1974	84.7	70	52.6	89	75	73
1975	37.2	62	53.3	98	58.4	99
1976	44.4	58	47.3	66	70.6	57
1977	58.6	53	46.4	34	60.4	82
1978	43.3	38	33.7	60	64	37.5
1979	57.4	40.5	57.4	26.2	51.8	53
1980	45.5	39	39.8	15	50.4	38.5
1981	119.6	53	49	32.3	70.3	77.5
1982	59.6	55	52.4	39.2	58.7	87.5
1983	58.6	42	43.3	97.6	52.5	59.5
1984	54	53	64.6	85	34.5	56.3
1985	29.4	27.5	36.5	90.2	46	50.5
1986	39.6	42	39.2	84.8	41.5	44
1987	53.2	51	60.7	81	35.6	43.5

Tabla 3.- Serie anual de máximos de precipitación en las estaciones pluviométricas de la cuenca. Los números en negrilla corresponden a las legunas en la serie que se han rellenado según se indica en el texto.

## PRECIPITACION POR PERIODO DE RETORNO (mm./día)

ESTACION	5 ANOS	25 ANOS	100 ANOS	500 ANOS
BARBARA	80.8	114.5	142	174
MONTBLANC	71.6	95.8	115.8	138.8
RIUDABELLA	110.5	159	199	245
ROCAFORT	55	69	80.8	94
SARRAL	58	75.6	89.9	106
VIMBODI	80	105.9	127	151

Tabla 4. Precipitación por periodo de retorno para Las diferentes estaciones de registro.

Con los resultados obtenidos para cada período de retorno y estación pluviométrica se han trazado los mapas de isoyetas (Fig.3). Como apoyo para un mejor trazado de las isoyetas se ha utilizado además los mapas de isoyetas de la Dirección General de Carreteras (18) a escala 1:1.000.000. A partir de estos mapas hemos obtenido, planimetrando, la precipitación diaria máxima (Pd) por periodo de retorno en cada subcuenca (tabla 5).

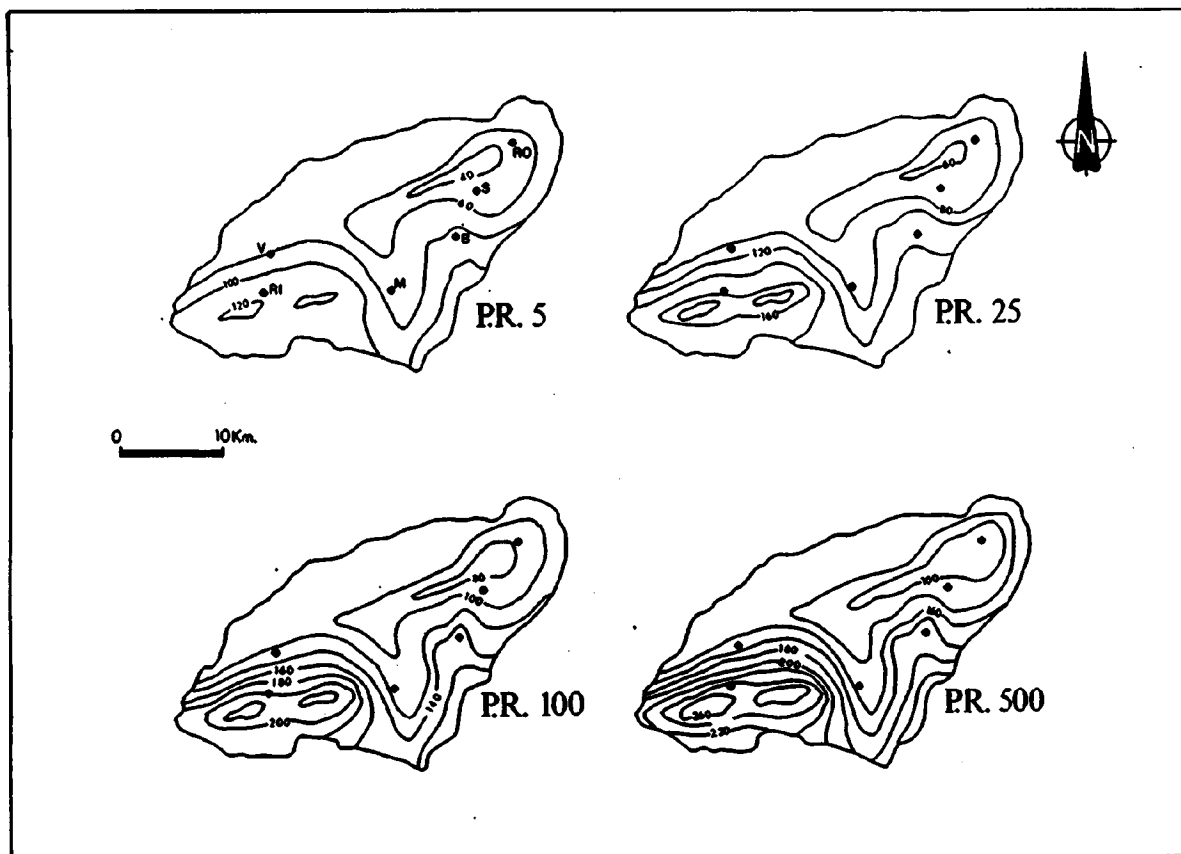


Figura 3.- Mapas de isoyetas para las precipitaciones máximas según los periodos de retorno (P.R.) de 5, 25, 100 y 500 años. Se sitúan las estaciones pluviométricas: M= Montblanc, RI=Riudabella, V=Viabodí, B=Barbarà, S=Sarral, RO=Rocafort.

## Pd POR PERIODO DE RETORNO PONDERADO POR SUBCUENCA.

Subcuenca	5 años	25 años	100 años	500 años
1	96	132	162	196
2	96	132	162	196
3	67	89	109	127
4	77.5	105	129	152
5	77.5	105	129	153
6	104.6	141	171.8	211
7	78.5	106	130	155
8	78.7	106	130	155
9	99	127	153	186
10	100	126	156	185
11	79	106	130	155
12	79	106	130	155
13	98	130	150	182
14	79	106	130	155
15	79	106	130	155

Tabla 5. Precipitación diaria máxima en 24 horas por periodo de retorno y por subcuenca.

### 7.3.3. Esquema hidrológico.

El esquema hidrológico representa las distintas subcuencas consideradas con su superficie y los tiempos de concentración en los puntos de interés del cauce (Fig.4). Esta subdivisión obedece como ya se ha comentado, a la obtención de caudales en diversos puntos de interés de la cuenca. Se consideran un total de 15 puntos, numerados del 1 al 15 empezando en la cabecera del río Francolí.

Los tiempos de concentración en los diversos puntos de interés representados en el esquema han sido calculados según la fórmula propuesta por la Dirección General de Carreteras del MOPU (21):

$$T_c = 0.3 \times \left( \frac{L}{J^{0.25}} \right)^{0.76}$$

En la que:

Tc(h)= tiempo de concentración  
 L(Km)= longitud del curso principal  
 J(tanto por uno)= pendiente media del curso principal.

### 7.3.4. Cálculo hidrometeorológico de los caudales máximos de avenida.

El objetivo de este cálculo es el de establecer una relación cuantitativa entre las precipitaciones y los caudales.

El método utilizado es el propuesto por la Dirección General de Carreteras del MOPU (21) para pequeñas cuencas naturales. Se trata de un método derivado del método racional adaptado a las características de la España peninsular. La relación precipitación-caudal se define con la fórmula :

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3}$$

En la que:

- C = Coeficiente de escorrentía
- I = Máxima intensidad media de precipitación en un intervalo de duración igual a Tc(mm/h)
- A = Area de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

El coeficiente de escorrentía (C) se calcula a partir de las características intrínsecas de la cuenca. Apartir de los mapas temáticos (litología, usos del suelo y pendientes)(Fig.5) se determina un umbral de escorrentía (Po) para cada subcuenca (Tabla 6). Es importante resaltar que en el mapa de pendientes se han diferenciado dos grupos de pendientes, las mayores del 3% y las menores del 3%. Las zonas con pendientes mayores del 3% con bancales se les ha atribuido un valor equivalente a las zonas con pendiente menor al 3%.

El valor obtenido de Po se modifica con un multiplicador regional de Po (MRE), determinado a partir de mapas de isovalores de este parámetro (MOPU 21).

A partir de los valores de Po y de la precipitación máxima diaria (Pd) se determina el valor de C con la fórmula:

$$C = \frac{(Pd - Po) \times (Pd + 23 Po)}{(Pd - 11 Po)^2}$$



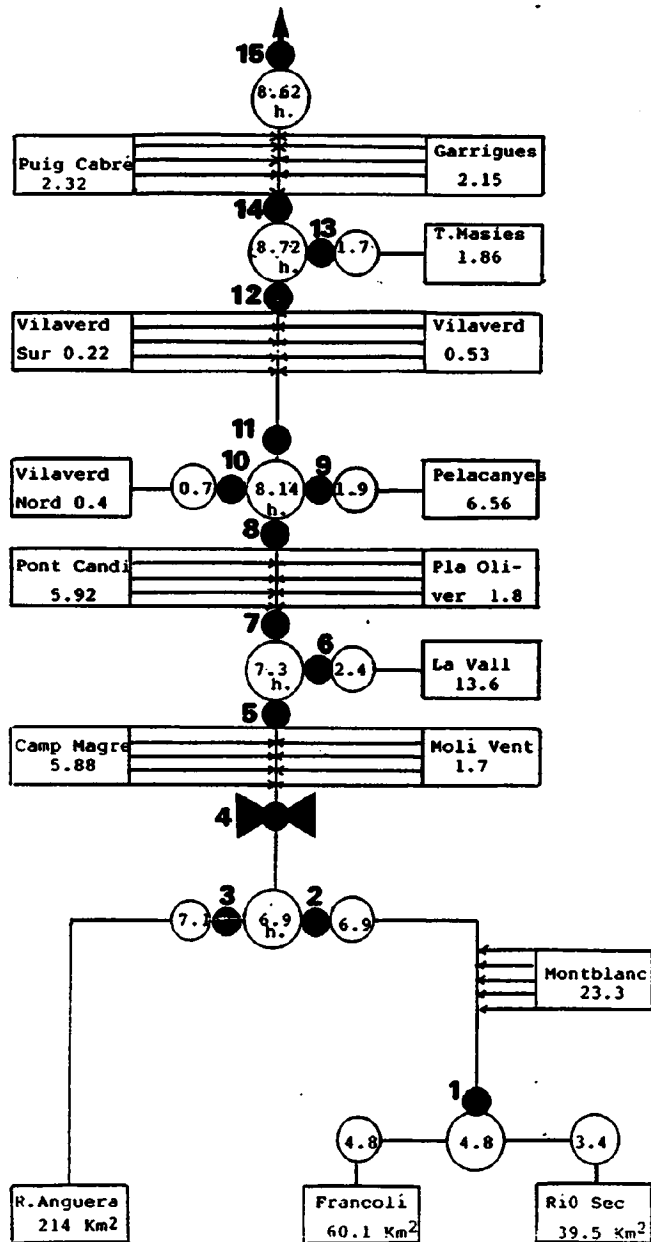


Figura 4.- Esquema hidrológico de la cuenca. Los cuadrados representan las subcuencas, se incluye el área de cada una. Los círculos indican el tiempo de concentración. Los puntos negros son los puntos de cierre para los que se ha calculado el caudal.

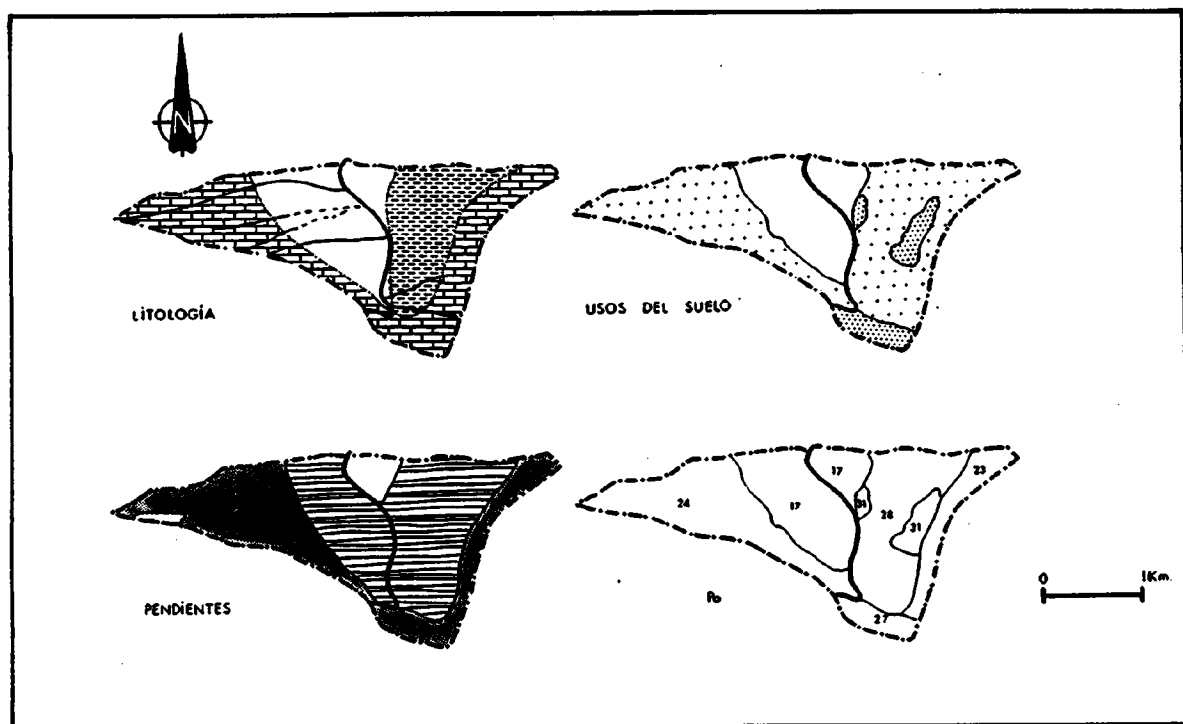


Figura 5.- Mapas temáticos para el cálculo del parámetro de escorrentía ( $P_o$ ).

Mapa de litología, trama de rectángulos: calizas, trama de rayas discontinuas: arcillas, trama blanca: depósitos aluviales cuaternarios (basado en el Mapa Geológico de España, ITGE).

Mapa de usos del suelo, trama de puntos densos: bosque claro, trama de puntos: bosque muy claro, trama blanca: cultivos en hilera (basado en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, MAPA y Foto SPOT-1).

Mapa de pendientes, trama gris: pendientes mayores al 3%, trama blanca: menores al 3%, trama rayada: zonas de bancales.

Mapa  $P_o$ , zonas con isovalores de  $P_o$ .

Las subcuencas representadas son las más meridionales de la cuenca; al Este, la subcuenca de Puig Cabré y al Oeste, la subcuenca de Les Garrigues. La línea de trazo grueso representa el río Francolí.

## VALOR DE Po PONDERADO PARA CADA SUBCUENCA

NUMERO DE SUBCUENCA	VALOR DE Po
1	22
2	22
3	14
4	17
5	17
6	19
7	17
8	17
9	11
10	13
11	17
12	17
13	6
14	17
15	17

Tabla 6.- Valores de Po ponderados para cada subcuena.

Para el cálculo de la intensidad (I) se parte de una relación de intensidad diaria-horaria (RI) elegida a partir de mapas de isovalores de RI (MOPU 21). La relación intensidad diaria-intensidad horaria (RI) se establece por mapas de isovalores de RI al no existir registros de pluviográficos en la zona estudiada. El valor de I para un intervalo de duración igual al tiempo de concentración se calcula a partir de una ley que relaciona I/Id con la duración de la precipitación para cada valor de RI. El método asume que las lluvias de duración equivalente al Tc de la cuenca son las que originan los máximos caudales. Id se calcula para cada periodo de retorno dividiendo la Pd máxima calculada por Gumbel dividida entre 24 horas.

Esta fórmula se aplica para cuencas pequeñas con tiempos de concentración menores a 6 horas. En nuestro caso se supera ese valor de Tc en las zonas bajas de la cuenca (estación de aforos de Montblanc Tc=7.1h., Vilavert Tc=8.36h.). Aunque estrictamente nos encontramos fuera del margen de aplicabilidad de la fórmula, al tratarse de un límite arbitrario, la hemos aplicado. La existencia de datos que posibilitan el calibrado nos permitirán eliminar los posibles errores derivados de este hecho. Como se justificará al discutir la calibración, la fórmula finalmente utilizada es:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

Se ha realizado el cálculo para cada subcuenca definida en el esquema hidrológico. Para los puntos dentro del cauce principal se han calculado los caudales considerando toda la superficie situada aguas arriba del punto. Los resultados finales, ya calibrados, se presentan en las figuras 6,7,8 y 9.

### 7.3.5. calibrado de los resultados

Los resultados obtenidos para el punto nº 4 (estación de aforos de Montblanc) se han comparado con los valores obtenidos con la serie estadística. El punto nº4 es el único para el que disponemos de datos reales que permiten el calibrado. El objetivo de la calibración es ajustar los valores obtenidos con el método hidrometeorológico con los valores obtenidos a partir de la serie de caudales reales para posteriormente realizar el ajuste en el resto de puntos de la red. Los valores estadísticos y los más representativos del proceso de calibración se representan en la tabla 7 y en un gráfico caudal-período de retorno (gráfico 1). La calibración ha seguido los siguientes pasos:

1-Los valores de partida se han obtenido sumando los valores de  $Q$  obtenidos en cada una de las subcuencas situadas aguas arriba del punto nº4 y utilizando un MRE de 3.2 y una RI de 11.1 para todas ellas. Los resultados obtenidos difieren progresivamente al aumentar el período de retorno (paso 1 tabla 7 y gráfico 1).

2-Se ha sustituido la precipitación diaria ( $P_d$ ) ponderada para cada subcuenca por un valor ponderado sobre toda la subcuenca aguas arriba del punto nº4. Este cambio no ha producido modificaciones significativas.

3-Se ha repetido el cálculo considerando una única cuenca aguas arriba del punto nº4, manteniendo los valores de MRE y RI (MRE=3.2, RI=11.1). Se aprecia una notable disminución de los valores obtenidos. En los posteriores pasos se mantiene esta modificación (paso 3 tabla 7 y gráfico 1).

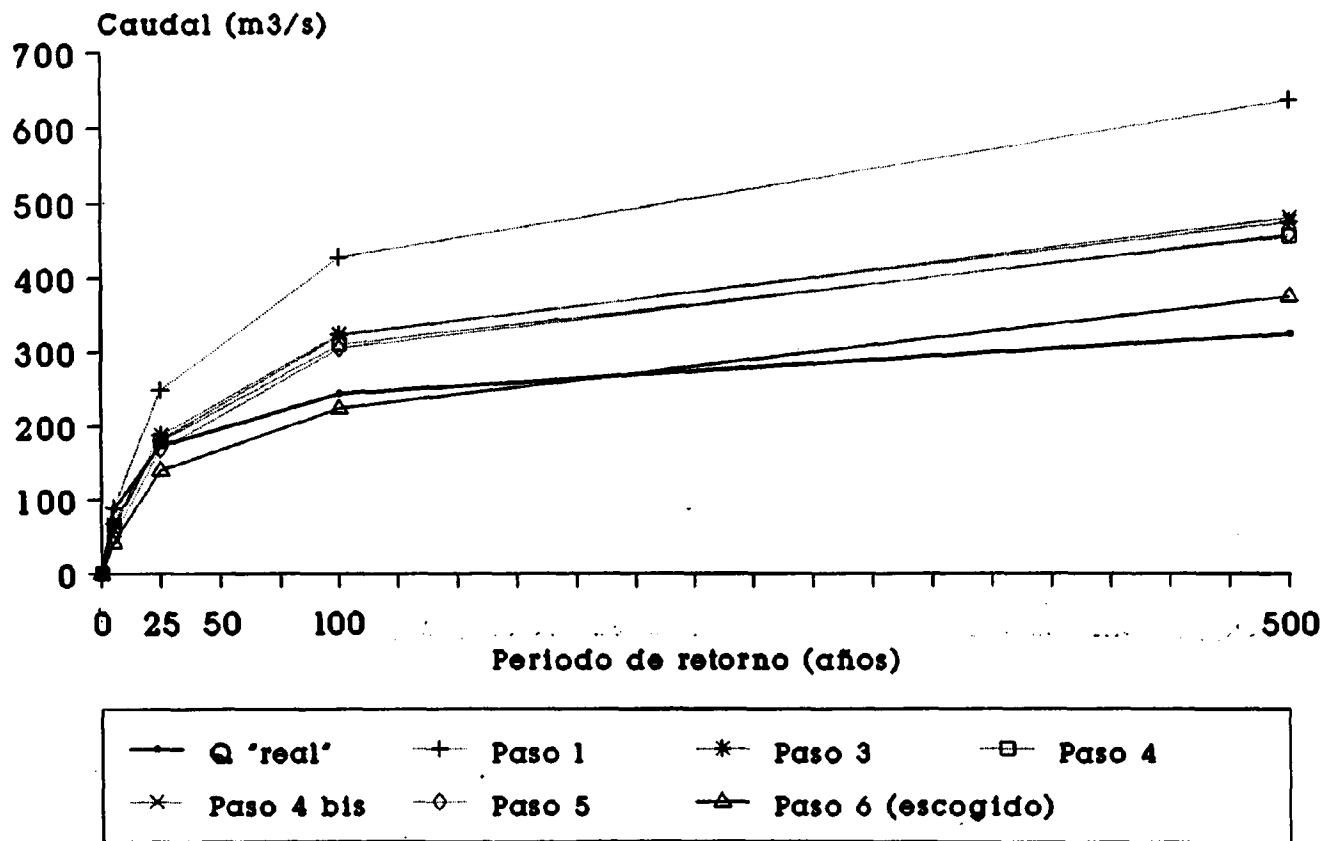
4-Se han realizado modificaciones de los factores MRE y RI por separado. Estos coeficientes son los que presentan

mayor incertidumbre de la fórmula y por consiguiente son los más susceptibles a ser modificados. Se ha observado que el factor MRE tiene un peso importante sobre la fórmula mientras que la modificación del factor RI no produce cambios significativos (paso 4, MRE=3.2 RI=10). En adelante se deja como fijo RI(RI=11) y se modifica sólo el MRE (paso 4 bis MRE=3.4 RI=11, tabla 7 y gráfico 1).

5-Se aumenta el valor de MRE con lo que se consigue disminuir los caudales resultantes (paso 5 MRE=3.5 RI=11, tabla 7 y gráfico 1). Esta variación no consigue contrarrestar el aumento de las diferencias para períodos de retorno mayores a la vez que disminuye su valor para los períodos menores. En otras palabras la recta calculada tiene mayor pendiente que la "real" (definida con los valores estadísticos). La variación del MRE sólo consigue desplazar la recta respecto el eje de ordenadas sin modificar su pendiente. Esto era esperable ya que si bien el coeficiente de escorrentía varía con el período de retorno el MRE no lo hace.

6-Se modifica el divisor 3 de la fórmula por el de 3.6 (este es el valor del divisor en la fórmula racional original en unidades métricas). Esta modificación mejora el ajuste, produciendo una disminución de los resultados sin la necesidad de variar excesivamente los valores del MRE (paso 6).

# Calibrado del modelo hidrológico



gráfica 1.- Datos referidos a la estación de aforos de Montblanc

CAUDALES POR PERIODO DE RETORNO

	5 años	25 años	100 años	500 años
Q "real"	88	173	244	325
Paso 1	89	249	428	638
Paso 3	68	186	324	476
Paso 4	65	180	310	456
Paso 4 bis	59	182	322	481
Paso 5	51	169	305	459
Paso 6	42	140	253	381

Tabla 7.- Valores de caudal obtenidos en los pasos más significativos del proceso de calibrado, los valores en negrilla son los definitivos.

Observamos que a pesar de las modificaciones realizadas no se ha conseguido una variación suficiente de la pendiente. Para conseguir un mayor ajuste consideramos que sería necesario modificar la fórmula del coeficiente de escorrentía. Esto implica serias dificultades y supera el objetivo de este proyecto.

Finalmente se adoptan como definitivos los resultados calculados con la fórmula con divisor 3.6 con un RI=11 y un MRE=3.5.

Se calculan los valores de Q para los restantes puntos de la cuenca cuyos resultados se reproducen en las figuras 6,7,8 y 9.



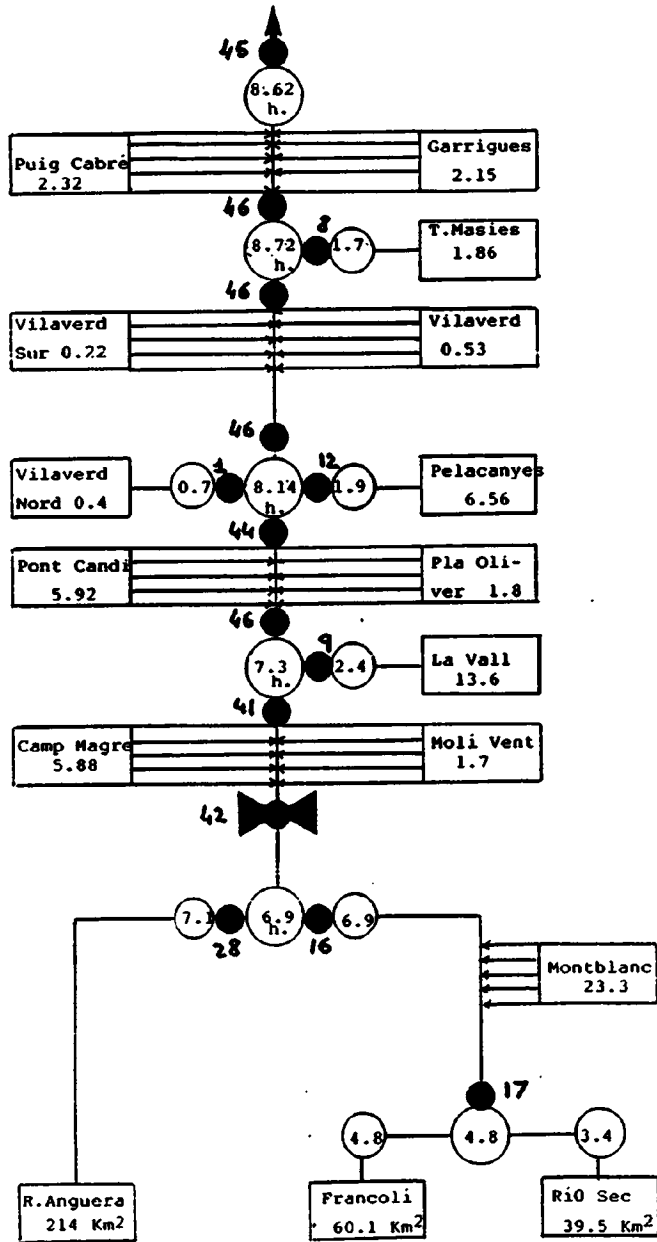


Figura 6.- Esquema hidrológico. Se representan los valores de caudal máximo para un periodo de retorno de 5 años en los puntos de cierre considerados (puntos negros).

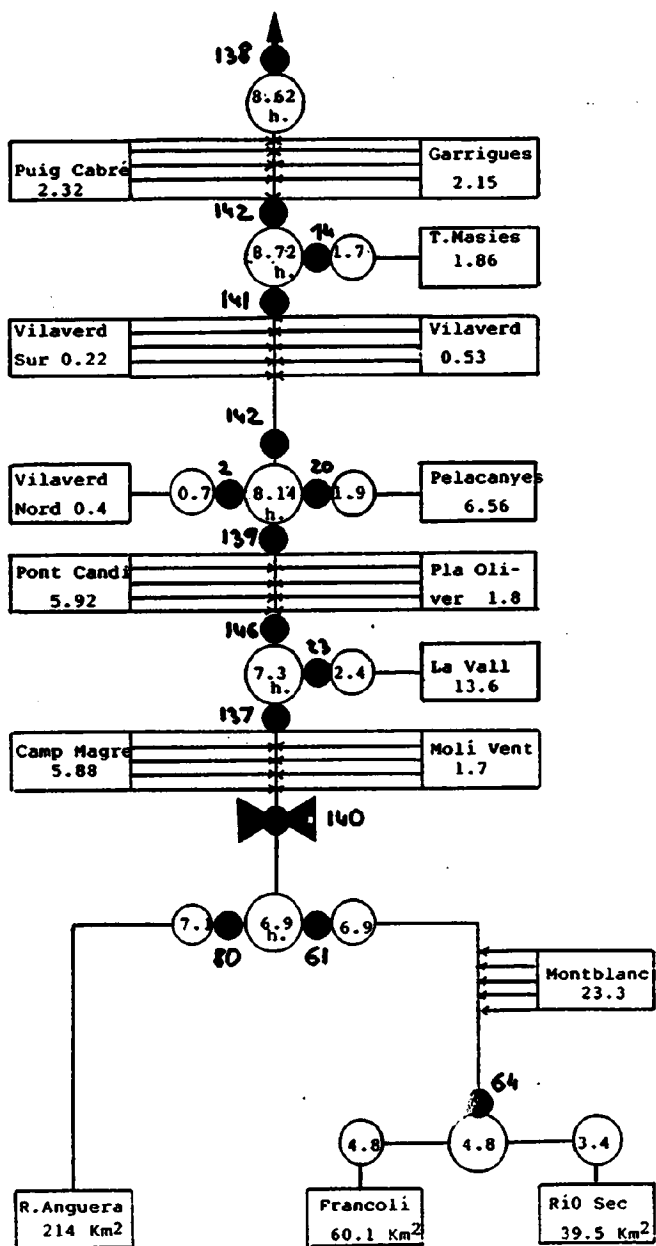


Figura 7.- Esquema hidrológico. Se representan los valores de caudal máximo para un periodo de retorno de 25 años en los puntos de cierre considerados (puntos negros).

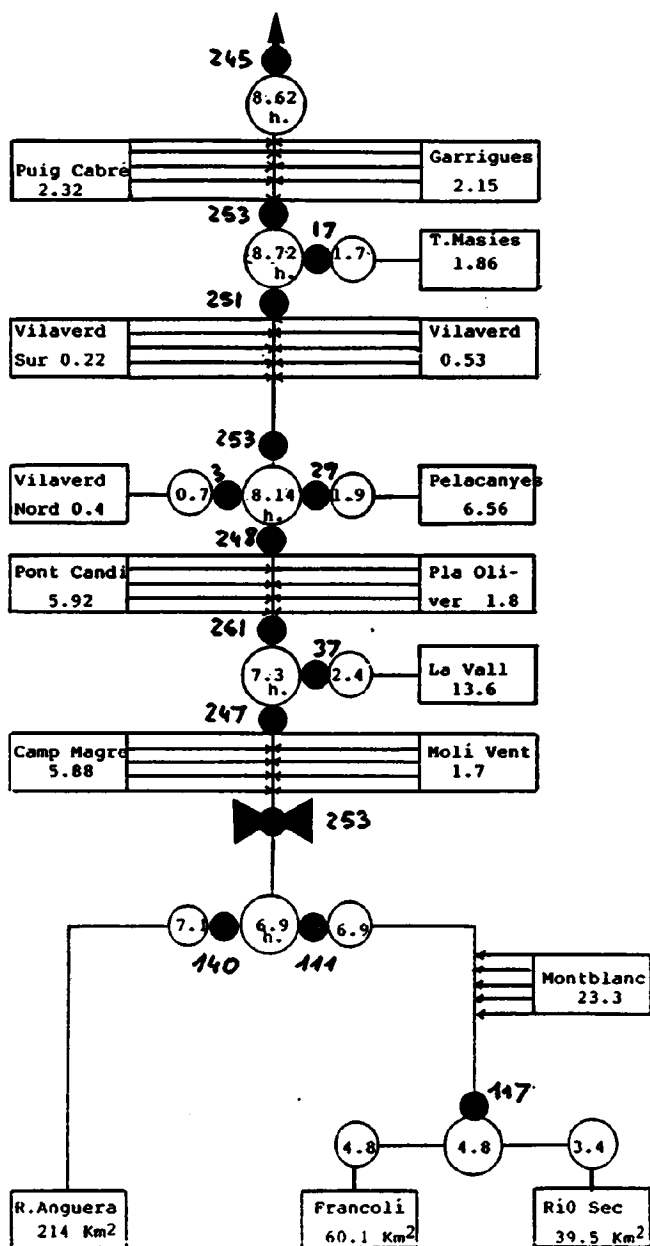


Figura 8.- Esquema hidrológico. Se representan los valores de caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años en los puntos de cierre considerados (puntos negros).

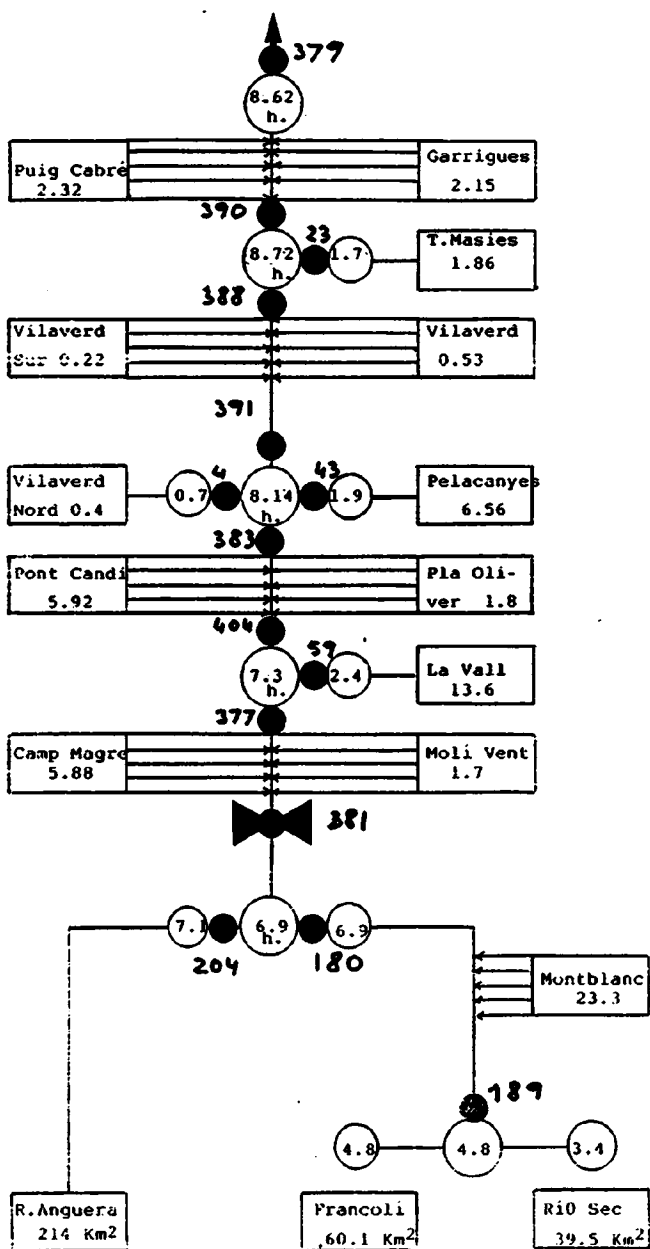


Figura 9.- Esquema hidrológico. Se representan los valores de caudal máximo para un periodo de retorno de 500 años en los puntos de cierre considerados (puntos negros).

## 8. ANALISIS HIDRAULICO.

El siguiente paso ha realizar, una vez estimados los caudales a lo largo del sistema fluvial, es un análisis hidráulico que nos permita calcular que alturas de agua se asocian con dichos caudales. Los resultados de este capítulo en conjunción con las bases topográficas disponibles nos permitirán identificar las zonas situadas por debajo de la elevación del agua provocada por cada avenida.

Este cálculo se ha realizado sólo en los segmentos en los que se realiza la cartografía de peligrosidad. Se describirán por separado ambos sectores ya que las bases topográficas disponibles tienen un grado de detalle muy diferente (1:1000 para L'Espluga de Francolí y 1:5000 para Vilavert). Este hecho ha condicionado el cálculo ya que para escalas menores la falta de resolución del mapa impide introducir las mejoras obtenidas por procesos más refinados de cálculo.

### 8.1. Sector de Vilavert

En este segmento se asume un régimen hidráulico permanente con movimiento uniforme; el caudal se considerará como constante para cada sección de cálculo.

Se han definido 4 secciones de control cuyo perfil se ha levantado en el campo. En estas secciones se ha definido la relación entre caudales y alturas aplicando la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

En la que:

- A = área de la sección mojada (m<sup>2</sup>)
- R = radio hidráulico (m)
- S = pendiente del río (tanto por uno)
- n = coeficiente de rozamiento de Manning.

El caudal ( $Q$ ) y la pendiente del río ( $S$ ) son conocidos; el valor de  $n$  se puede estimar, el área de la sección ( $A$ ) y el radio hidráulico ( $R$ ) pueden expresarse en función del calado del agua ( $Y$ ), dependiendo de la forma geométrica de la sección. En definitiva la única variable de la fórmula es  $Y$ , por lo que puede ser calculada a partir de los caudales máximos de avenida. La dificultad que surge al resolver este problema es que la relación entre calado, radio hidráulico y área están bien definidas para canales rectangulares o trapezoidales pero es muy complejo establecer relaciones matemáticas para secciones irregulares. Este problema lo hemos resuelto aplicando el método propuesto por ESCRIBA (6). EL procedimiento es laborioso pero da resultados correctos.

Para cada una de estas secciones se ha procedido a definir la curva de descarga o relación caudal-altura. Esta curva se ha definido aplicando la ecuación de Manning. Para cada sección se calcula el caudal para varias alturas elegidas arbitrariamente. A partir de esa altura planimetrando la sección se han calculado el área y el radio hidráulico y finalmente el caudal. De esta forma se han obtenido los puntos de la curva de descarga. Finalmente uniendo dichos puntos se ha trazado la curva de descarga.

En un primer paso (sección 4) se definieron para una misma sección varias curvas variando la  $n$  de Manning. Con este procedimiento se cuantificó el rango de variación de los calados al variar  $n$ ; esta variación llega a ser de 2 metros entre los valores de  $n=0.049$  y  $n=0.137$ . Teóricamente lo más correcto es suponer una variación de  $n$  al incrementar el caudal. Así, partiendo de una  $n$  inicial para el lecho menor, se produce un aumento de la resistencia ( $n$  mayor) al elevarse el nivel ocupando el lecho mayor y la llanura de inundación. A su vez las elevaciones sucesivas del calado, una vez ocupada toda la zona inundable, provocarán una disminución de la resistencia sobre el lecho de manera que la  $n$  tenderá a disminuir. En la práctica se ha calculado para cada sección una  $n$  representativa de todo un tramo del cauce, a partir del método de Cowan (5), que se ha modificado ligeramente para los

El caudal ( $Q$ ) y la pendiente del río ( $S$ ) son conocidos; el valor de  $n$  se puede estimar, el área de la sección ( $A$ ) y el radio hidráulico ( $R$ ) pueden expresarse en función del calado del agua ( $Y$ ), dependiendo de la forma geométrica de la sección. En definitiva la única variable de la fórmula es  $Y$ , por lo que puede ser calculada a partir de los caudales máximos de avenida. La dificultad que surge al resolver este problema es que la relación entre calado, radio hidráulico y área están bien definidas para canales rectangulares o trapezoidales pero es muy complejo establecer relaciones matemáticas para secciones irregulares. Este problema lo hemos resuelto aplicando el método propuesto por ESCRIBA (6). EL procedimiento es laborioso pero da resultados correctos.

Para cada una de estas secciones se ha procedido a definir la curva de descarga o relación caudal-altura. Esta curva se ha definido aplicando la ecuación de Manning. Para cada sección se calcula el caudal para varias alturas elegidas arbitrariamente. A partir de esa altura planimetrando la sección se han calculado el área y el radio hidráulico y finalmente el caudal. De esta forma se han obtenido los puntos de la curva de descarga. Finalmente uniendo dichos puntos se ha trazado la curva de descarga.

En un primer paso (sección 4) se definieron para una misma sección varias curvas variando la  $n$  de Manning. Con este procedimiento se cuantificó el rango de variación de los calados al variar  $n$ ; esta variación llega a ser de 2 metros entre los valores de  $n=0.049$  y  $n=0.137$ . Teóricamente lo más correcto es suponer una variación de  $n$  al incrementar el caudal. Así, partiendo de una  $n$  inicial para el lecho menor, se produce un aumento de la resistencia ( $n$  mayor) al elevarse el nivel ocupando el lecho mayor y la llanura de inundación. A su vez las elevaciones sucesivas del calado, una vez ocupada toda la zona inundable, provocarán una disminución de la resistencia sobre el lecho de manera que la  $n$  tenderá a disminuir. En la práctica se ha calculado para cada sección una  $n$  representativa de todo un tramo del cauce, a partir del método de Cowan (5), que se ha modificado ligeramente para los

caudales mayores.

A partir de las curvas de descarga, conociendo los caudales para los distintos períodos de retorno en cada sección, se han obtenido los calados. Se verificó el proceso satisfactoriamente calculando con la fórmula de Manning para diversos calados los caudales correspondientes. En la sección Planos (SECCIONES TRANSVERSALES DEL RIO FRANCOLI EN EL SECTOR DE VILAVERT. ALTURA DE AGUA PARA LAS DIFERENTES AVENIDAS CALCULADAS) se representan las secciones con las diferentes alturas calculadas. En la tabla 8 se representan las alturas para cada período de retorno en las distintas secciones.

#### 8.1.1. Cálculo de la sección 4.

La sección nº4 corresponde a un puente de la vía del ferrocarril (ver SECCIONES TRANVERSALES DEL RIO FRANCOLI EN EL SECTOR DE VILAVERT, en planos). Para el cálculo de los calados de procedió de la siguiente forma:

1.-Se eligieron cuatro valores de altura de lámina de agua: 0.8, 2.4, 4.4, 5.5 y 6.4 metros.

2.-Se han medido sobre la sección el área (A), perímetro mojado (P) y radio hidráulico (R) para cada una de las alturas elegidas:

h=0.8	A=10.5	P=14.5	R=0.724
h=2.4	A=86.3	P=53.9	R=1.601
h=4.4	A=186.9	P=57.9	R=3.227
h=5.5	A=237.4	P=59.6	R=3.983
h=6.4	A=287.7	P=61.9	R=4.647

3.-Se calculó la pendiente media (s) de un tramo aguas arriba y aguas abajo de la sección:  $s=0.0058$ .

4.-Con los valores del área, el radio hidráulico y la pendiente para cada altura, se calculó el caudal aplicando la ecuación de



Manning y dejó el factor de rozamiento  $n$  como incógnita:

$h=0.8$	$Q=1/n \times 0.643$
$h=2.4$	$Q=1/n \times 8.972$
$h=4.4$	$Q=1/n \times 30.58$
$h=5.5$	$Q=1/n \times 45.25$
$h=6.4$	$Q=1/n \times 60.807$

5.-Para cada altura se aplicaron cuatro valores de  $n$ : 0.049, 0.056, 0.0064, 0.072; se obtuvieron cuatro caudales por altura. La foto 4 (anexo de Fotografías del Sector de Vilavert), en la que se observa el lecho del río en esta sección, se ha utilizado para definir los valores de  $n$ . Los resultados se representaron gráficamente definiéndose las curvas de descarga para cada  $n$  (gráfico nº2).

6.-A partir del modelo hidrológico (figuras 6,7,8 y 9) se obtuvieron los caudales de avenida para esta sección:

$$Q_5=46.1, Q_{25}=146.7, Q_{100}=261, Q_{500}=404 \text{ m}^3/\text{s}$$

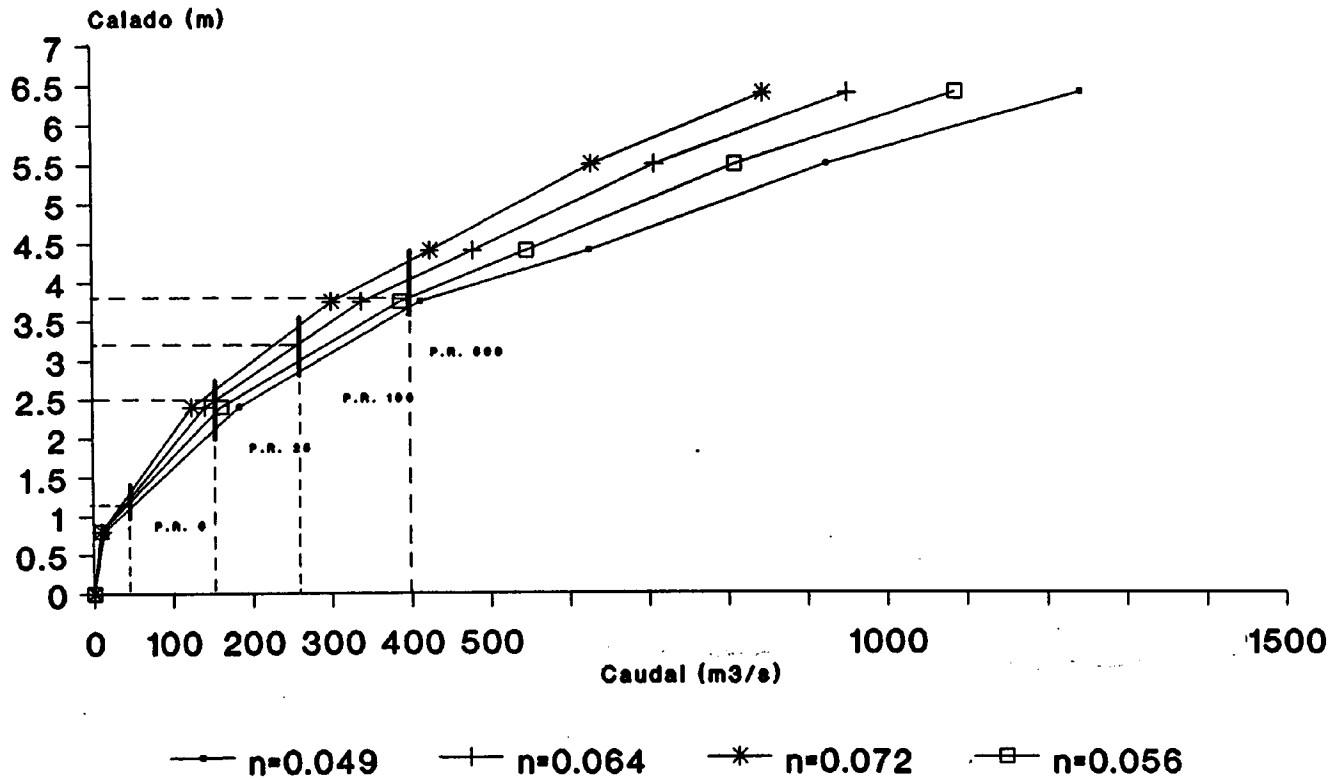
7.-Con dichos caudales se entró en la curva de descarga y se calcularon las alturas de lámina de agua correspondientes. Se obtuvieron inicialmente cuatro alturas para cada caudal. Estos valores nos permitieron conocer aproximadamente la zona inundada para cada caudal, se eligieron en función de la zona inundada una  $n=0.049$  ( $Q_5$ ) para el lecho menor y una  $n=0.056$  para el lecho mayor ( $Q_{500}$ ) y  $n=0.064$  para las situaciones intermedias, ( $Q_{25}$  y  $Q_{100}$ ).

8.-Se adoptaron como definitivas las alturas :

$Q_5$	$h=1.25\text{m}$	para $n=0.049$
$Q_{25}$	$h=2.5\text{m}$	para $n=0.064$
$Q_{100}$	$h=3.1\text{m}$	para $n=0.064$
$Q_{500}$	$h=3.75\text{m}$	para $n=0.056$

# Sección 4

## Puente Sur Vía Férrea (Vilavert)



Gráfica 2.- Curvas de descarga para distintas n

9.-Como comprobación de este método se repitieron los pasos 2 y 4 utilizando las alturas resultantes del paso 8 y las n elegidas anteriormente. Se obtuvo el caudal para cada altura:

Q5	h=1.25m	Q=42	para n=0.049
Q25	h=2.5m	Q=125	para n=0.064
Q100	h=3.1m	Q=238	para n=0.064
Q500	h=3.75m	Q=386	para n=0.056

Estos valores son próximos a los calculados con el modelo hidrológico. Teniendo en cuenta que para una variación de caudal de 143 m<sup>3</sup>/s (Q500-Q100) la diferencia de alturas es de 70 cm., consideramos que las alturas calculadas son muy próximas a las reales y aceptamos como válido este procedimiento.

Se ha procedido de la misma forma para el resto de secciones. Las curvas de descarga se representan en el anexo 1, las alturas obtenidas son:

	Q5	Q25	Q100	Q500	Qn
Sección 3	2	3.8	5.3	6.2	8.5
Sección 4	1.25	2.5	3.1	3.75	5.7
Sección 5	1.25	2.45	3.4	3.6	4
Sección 6	1.1	1.75	2.15	2.4	3.2

Tabla 8. Alturas máximas para los diferentes períodos de retorno en el sector de Vilavert.

Una vez conocida la magnitud de las avenidas históricas (ver proxima sección) se ha calculado la altura para una avenida de caudal similar a estas (900 m<sup>3</sup>/s) para cada una de las secciones de este sector. El objetivo de este cálculo es conocer las zonas inundables para avenidas de magnitud de las históricas para subsanar la falta de datos de las series de caudales y precipitaciones.

### 8.1.2. Avenidas Históricas

En el sector de Vilavert se han localizado dos marcas del nivel que alcanzaron las avenidas de 1874 y de 1930 (Secciones 1 y 2, SECCIONES TRANSVERSALES DEL RIO FRANCOLI EN EL SECTOR DE VILAVERT y MAPA DE PELIGROSIDAD DE INUNDACION Y RIESGOS ASOCIADOS DEL SECTOR DE VILAVERT, ver planos). Se han calculado los caudales asociados a esas alturas.

#### Sección 1. Puente de la Fusta

Durante la avenida del año 1930 las aguas llegaron a 2 metros por debajo de la llave de los arcos de este puente (ver sección 1, SECCIONES TRANSVERSALES ...SECTOR DE L'ESPLUGA, en planos). Esta sección ha sido calculada por MONTALBAN y NOVOA (17) en un estudio de la avenida de 1930 a lo largo del río Francolí. Utilizando la fórmula de Manning con un  $R=3.986$  m y una  $n=0.045$  obtienen un caudal de 1094 m<sup>3</sup>/s.

#### Sección 2. La Farga

La marca esta situada en la pared sur del edificio del Mas de La Farga a 8.5 metros sobre el lecho del río, registrando la avenida de 1874. Es una cota muy elevada si tenemos en cuenta la gran amplitud de la sección (sección 2, SECCIONES TRANVERSALES ... SECTOR DE VILAVERT, en planos). En la ribera derecha del río a una cota ligeramente inferior de la marca se encuentra una importante acumulación de gravas y cantos en forma de montículo de aspecto reciente; se encuentran gravas en toda la ribera izquierda hasta el pie del talúd de la vía férrea (ver sección 2). Estos depósitos se pueden atribuir a esta misma avenida.

Los valores obtenidos para dicha cota son de  $A=1950$  m<sup>2</sup>,  $P=345$  m y  $R=5.652$  m; la pendiente de este sector es de  $s=0.0164$ . Aplicando a estos valores la ecuación de Manning obtenemos la siguiente relación:

$$Q = 1/n \times 788.7$$

Los valores de caudal que se obtienen aplicando coeficientes de rugosidad medianamente altos son totalmente desproporcionados con los valores calculados en otros puntos. Así para  $n=0.065$  se obtiene un caudal de 12.134 m<sup>3</sup>/s y para  $n=0.137$  se obtienen 5.757 m<sup>3</sup>/s. Estos resultados no son coherentes con los que se han calculado en L'Esplugas (Q=500 m<sup>3</sup>/s en la sección 3 de la Font Major) ni en otras secciones aguas abajo (Molí de la Granja, Alcover, MONTALBAN y NOVOA 17).

Para obtener valores de caudal razonables es necesario aplicar coeficientes muy altos, p.e.  $n=0.5$  Q=1577 m<sup>3</sup>/S. Esto nos hace suponer que gran parte de la sección presentaba, para esta cota, aguas estancadas. Con esta suposición es posible conciliar este dato con los existentes en otros puntos del río. Este hecho nos induce a pensar que se produjo una importante obstrucción del cauce que creó un embalsamiento temporal de las aguas. Este fenómeno pudo provocarse por taponamiento del puente de la vía férrea (puente de la Roca Xanxa, ver plano citado) o por movimientos en masa de los taludes sobre el canal o más probablemente por una combinación de los dos. Esta explicación viene reforzada por la existencia de un deslizamiento rotacional, de unos 200 m. de frente, entre el puente del ferrocarril y la masía de la Farga que actualmente es activo. Es probable que este puente fuese destruido durante la avenida de 1874 (ver capítulo de avenidas históricas).

## 8.2. Sector de L'Espluga.

Se ha procedido similarmente aplicando la ecuación de Manning y calculando las curvas de descarga para 9 secciones (anexo 2). A partir de estas curvas se han obtenido los calados para cada uno de los períodos de retorno (tabla 9 y plano SECCIONES TRANVERSALES DEL RIO FRANCOLI EN EL SECTOR DE L'ESPLUGA. ALTURA DE AGUA PARA LAS DIFERENTES AVENIDAS CALCULADAS, ver planos). Además también se han calculado los calados para una avenida del orden de magnitud de las históricas (columna Yh, tabla 9). En las secciones con dato de altura de una avenida histórica (secciones 1 y 3, plano 2) Yh representa ese dato. En las secciones sin dato histórico, Yh representa la altura que le correspondería para una avenida de 500 m<sup>3</sup>/s calculada por la ecuación de Manning (este valor es equivalente a la avenida de 1874). Para el resto de secciones (4,8,10 y 11) los calados se han calculado por extrapolación sucesiva a partir de los calados calculados en las secciones próximas. En la sección 10 (puente de la Font Baixa) no se presentan resultados ya que todos los valores de la sección 9 son inferiores en mucho a la altura del arco del puente, los calados para esta sección serán menores que los de la sección 9 ya que la pendiente es mucho mayor.

## ALTURAS POR PERIODO DE RETORNO (m)

	Y5	Y25	Y100	Y500	Yh
Sección 1	0.7	1.7	2.25	2.6	4.5
Sección 2	0.4	2	2.25	2.3	3*
Sección 3	0.8	1.2	1.4	1.7	2.5
Sección 4	-	-	-	2.4	3.4*
Sección 5	0.5	1.7	2	2.5	3.4*
Sección 6	1	1.1	1.7	2	3.7*
Sección 7	1.2	1.9	2.5	3.4	4.6*
Sección 8	-	-	-	2.25	-
Sección 9	0.3	1.1	1.5	2	3.3*
Sección 10	-	-	-	-	-
Sección 11	-	-	-	2	2.5*
Sección 12	0.7	1.9	2.25	2.8	4.3*
Sección 13	1.7	2	2.5	3.9	7.1

Tabla 9.- Alturas máximas de lámina de agua para los diferentes periodos de retorno para las secciones de L'Esplugu, calculadas con la fórmula de Manning. Se representan las alturas (Yh) para las avenidas de 1930 (sección 1) y para la avenida de 1874 (sección 3). Asimismo se representan las alturas estimadas para  $Q=500$  m<sup>3</sup>/s para el resto de secciones (el dato se presenta con un asterisco).

Con la avenida de 500 años se ha aplicado el modelo de movimiento gradualmente variado (régimen permanente). Los cálculos se han representado en una sección longitudinal del segmento fluvial estudiado (plano SECCION LONGITUDINAL DEL RIO FRANCOLI A SU PASO POR L'ESPLUGA DE FRANCOLI. ALTURA DE AGUA PARA LA AVENIDA DE 500 ANOS en planos, ver también foto 1, anexo de fotografías de L'Espluga de Francolí). Este segmento consiste en tres tramos con pendiente suave separados por dos tramos de pendiente fuerte. En los cambios de pendiente entre los tramos suaves y los tramos fuertemente inclinados se ha considerado que el régimen es crítico, por lo que el calado es igual a la altura crítica ( $Y=Y_c$ ). A partir del calado calculado por la fórmula de Manning ( $Y_n$ ) se ha obtenido el ancho ( $w$ ) de la lámina de agua en cada sección. A partir de este dato y del caudal se ha calculado el calado crítico ( $Y_c$ ) con la fórmula:

$$Y_c = \left( \frac{Q}{w \times g^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

En la que:

- $Y_c$  = calado o altura crítico (m)
- $Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)
- $w$  = ancho del canal (m)
- $g$  = aceleración de la gravedad (m<sup>2</sup>/s).

y este se ha asumido como calado real ( $Y$ ). Se ha representado para todo el segmento la línea de calados normales uniendo los puntos obtenidos con las curvas de descarga. Asimismo se ha representado la línea de calados críticos calculados a partir de los normales (para  $Y_n$  se calcula el ancho  $w$  correspondiente y se obtiene  $Y_c$  con la fórmula anterior). Se observa como en los tramos de pendiente fuerte  $Y_c > Y_n$  mientras que en los de pendiente suave  $Y_c < Y_n$ . Se ha aplicado al sector central (entre el puente de la Font Baixa y la



cascada de la Font Major, secciones 5-9, Plano SECCIONES TRANVERSALES ... ESPLUGA DE FRANCOLI) el Método de los pasos obteniendo  $Y$  (altura de la lámina de agua) una vez conocido  $Y_n$  e  $Y_c$ ; se han supuesto condiciones críticas en la ruptura de pendiente, al iniciarse la cascada (sección 9). Estos resultados se han extrapolado para el sector aguas arriba y aguas abajo utilizándose tres puntos adicionales en los que se asume régimen crítico (secciones 3,4 y 11). Se ha trazado la línea de elevación de la lámina de agua ( $Y$ ) manteniendo las mismas relaciones entre  $Y$ ,  $Y_c$  y  $Y_n$  que las definidas para el tramo calculado numéricamente. Este procedimiento ha permitido trazar de una forma más realista la altura de la lámina de agua y sus singularidades (p.e. las depresiones asociadas a los cambios bruscos de pendiente) y conocer el tipo de régimen hidráulico previsible en cada tramo. Este hecho es de particular interés para calcular la capacidad del puente de la Font Baixa, situado sobre una cascada, para absorber la avenida de 500 años. Según estos cálculos el puente puede desaguar sin problemas una avenida de 200 m<sup>3</sup>/s y superiores.

Para las avenidas de otros períodos de retorno la altura de la lámina de agua se ha calculado gráficamente sobre la sección manteniendo la relación definida entre el calado y la altura normal para la avenida de 500 años (plano SECCION LONGITUDINAL DEL RIO FRANCOLI A SU PASO POR L'ESPLUGA. ALTURA DE AGUA PARA LAS DIFERENTES AVENIDAS CALCULADAS ver planos). Los resultados obtenidos figuran en la tabla 10.

ALTURAS POR PERIDO DE RETORNO (m)

	Y25	Y100	Y500	Yh
Sección 3	-	0.7	1	2.5
Sección 4	1.2	1	2.4	3.8*
Sección 5	1.8	2.1	2.7	3.5*
Sección 6	1.8	2.2	2.7	4*
Sección 7	1.2	1.7	2.1	3.9*
Sección 8	-	-	1.8	-
Sección 9	0.7	1.2	1.5	2.5*
Sección 10	-	-	-	-
Sección 11	-	-	2	2.5*
Sección 12	2	2.4	3.5	4.5*
Sección 13	1.5	2	3.2	7.1* (desborda)

Tabla 10.- Resultados definitivos de las alturas máximas de lámina de agua para los diferentes periodos de retorno para las secciones de L'Espluga. Se representan las alturas (Yh) para las avenidas de 1930 (sección 1) y para la avenida de 1874 (sección 3). Asimismo se representan las alturas estimadas para  $Q=500$  m<sup>3</sup>/s para el resto de secciones (el dato se presenta con un asterisco).

Estos resultados son los que consideramos definitivos y son los que se han utilizado para trazar el mapa de zonas inundables.

### 8.2.1 Avenidas históricas.

En el sector de L'Esplugu se han localizado dos marcas históricas que registran las avenidas de 1874 y de 1930 (secciones 1 y 3, ver plano SECCIONES TRANVERSALES...ESPLUGA DE FRANCOLI en planos). Se han calculado los caudales asociados a esas dos alturas.

La avenida de Santa Tecla (1874) está ampliamente documentada. Se dispone de un dato de la altura del agua así como de documentación sobre danos a diversos edificios e infraestructuras y registros de muertes asociadas a esta avenida. Todos estos datos han permitido calcular con precisión la altura de la lámina de agua a lo largo de todo el tramo. El dato de altura se halla en la Font Major a 2.5 metros del lecho del río (sección 3, plano SECCIONES TRANVERSALES...ESPLUGA DE FRANCOLI en planos). A partir de este valor se obtiene  $A=267.5$  m<sup>2</sup>,  $P=127$  m y  $R=2.106$  m; la pendiente de este tramo es  $s=0.0055$  aplicando la ecuación de Manning obtenemos:

$$Q = 1/n \times 31.7$$

Utilizando  $n=0.06$  obtenemos un caudal de 528 m<sup>3</sup>/s; para  $n=0.069$  obtenemos un caudal de 459 m<sup>3</sup>/s. Se ha considerado un caudal de 500 m<sup>3</sup>/s como promedio para los cálculos.

Con el valor de 500 m<sup>3</sup>/s se ha procedido a calcular mediante el método de los pasos la altura de la lámina de agua para todas las secciones. Estos datos se han representado sobre el mapa 1:1000 en el que se observa como la mayor parte de las zonas danadas se sitúan por debajo de esta altura. La única zona que ha quedado fuera es el Molí de la Vila debido a la importantes modificaciones en el cauce que se han realizado con posterioridad (elevación general por terraplenado y cierre de los ojos menores del puente de la Font Baixa). Esta zona se indica como un color diferente en el mapa de riesgos para indicar este hecho.

La avenida de St. Lluc (1930) presenta a diferencia una falta

total de registros y muy pocos datos. Se dispone de un solo dato de altura, aproximado, de esta avenida. Este se encuentra aguas arriba de la confluencia del riu Sec con el Francolí en el Molí d'en Guasch (sección 1, plano 2). El dato ha sido facilitado por el propietario del molino, testigo presencial de los hechos. Según éste, entre las 10 y las 11 de la noche del 18 de Octubre de 1930 el agua llegó a unos 2 metros sobre base del muro exterior del edificio principal, destruyendo un anexo a éste.

Los valores obtenidos para esta altura de agua son de  $A=267.5$  m<sup>2</sup>,  $P=104.5$  m,  $R=2.56$  m; la pendiente de este tramo es  $s=0.0066$ . Aplicando a estos valores la ecuación de Manning obtenemos:

$$Q = 1/n \times 39$$

Utilizando una  $n=0.06$ , se obtiene un caudal de 650 m<sup>3</sup>/s y para  $n=0.069$  un caudal de 565 m<sup>3</sup>/s. Atribuimos como valor medio un caudal de 600 m<sup>3</sup>/s para esta avenida.

Los valores obtenidos indican que el caudal en la avenida de 1930 fue mayor que para la de 1874. Esto se hace más evidente si tenemos en cuenta que la sección 1 (1930) se encuentra aguas arriba de la confluencia con el río Sec, mientras que la sección 3 (marca de la avenida de 1874) incluye los caudales de este río que según referencias escritas fueron importantes. Este resultado coincide con las observaciones de MONTALBAN Y NOVOA (ob. cit.) en las partes bajas de la cuenca (Molí de la Granja, Alcover).

## **9. DINAMICA FLUVIAL Y DE VERTIENTES.**

### **9.1. Sector de Vilavert**

En este sector el río presenta un trazado Norte-Sur. El río discurre por un ancho valle, constituido por materiales terciarios. Este valle está limitado al Oeste por los relieves de la sierra de Prades y al Este por la sierra de Miramar. Los materiales terciarios están constituidos por una formación caliza que forma un importante escalón en el norte de este sector (foto 3, anexo Fotografías del sector de Vilavert), y una formación de arcillas rojas con niveles yesíferos que constituye el substrato del curso fluvial en el resto de la zona (foto 5, anexo Fotografías del sector de Vilavert). Este sector presenta una dinámica de vertientes muy importante.

Fluvialmente este tramo se caracteriza por un trazado meandriforme muy bien desarrollado.

#### **9.1.1. Formaciones superficiales.**

A partir de la cartografía se han diferenciado cuatro niveles de terrazas (incluyendo los depósitos actuales) por su posición relativa respecto al cauce actual (plano MAPA DE FORMACIONES SUPERFICIALES ... DE L'ESPLUGA, en planos):

- Lecho mayor y depósitos recientes
- T1-terrazza baja (semiinundable)
- T2-terrazza media
- T3-terrazza alta

Estas terrazas presentan marcadas diferencias con las del sector de L'Espluga. Aquí las terrazas no son continuas a lo largo del curso si no que se desarrollan discontinuamente en meandros. La parte interna del meandro contiene los niveles más antiguos. La

terrazza media presenta asociados depósitos coluviales y torrenciales con paleosuelos (depósitos de piedemonte). Estos materiales ocupan una superficie muy importante (ver plano MAPA DE ZONAS INUNDABLES Y RIESGOS ASOCIADOS DEL SECTOR DE VILAVERT en planos).

### 9.1.2. Dinámica de Vertientes.

En la zona de contacto entre la formación caliza terciaria y la formación arcillosa subyacente es dónde se desarrollan los movimientos en masa. Se han identificado en la cartografía un total de 7 movimientos. Las dimensiones son variables, los frentes de los lóbulos presentan un orden de magnitud de cien metros. La mayoría de los movimientos son inactivos. Se ha detectado un único movimiento activo de tipo rotacional en las proximidades de la masía de la Farga de 100 metros de frente. En la parte superior del terreno deslizado todos los árboles están inclinados hacia la ladera, como es típico en estos movimientos.

Según los "masovers" de la masía de La Farga hace varios años (no se ha podido precisar el dato) estando dentro de el edificio se produjo un fuerte temblor de tierra con gran estruendo, se rompieron algunos cristales de las ventanas y cayeron algunos objetos de las estanterías. Probablemente este temblor fué producido por un desplazamiento imponente de la masa rocosa que constituye dicho movimiento y la situó en su posición actual.

Este movimiento posiblemente creó o contribuyó a crear el importante represamiento del río durante la avenida de 1874 (ver apartado 8.1.2 de análisis hidráulico de los datos históricos). Próximo a éste, en la trinchera de la línea del ferrocarril hay un movimiento de tipo traslacional que fue activo en el siglo pasado como consecuencia de la apertura de la línea. Este movimiento provocó la muerte de uno de los trabajadores de la línea (ANGUERA 1980).

Según su tipología y sus depósitos se han identificado los siguientes movimientos:

- Movimientos rotacionales (foto 5, anexo 3)
- Movimientos traslacionales (presentan depósitos de coladas) (foto 4, anexo 3)
- Movimientos mixtos rotacionales-traslacionales
- Movimiento rotacional con avalancha de rocas (foto 3, anexo 5)
- Movimiento de desplome o caída libre (foto 5, anexo 3).

A partir de todas estas observaciones podemos concluir que en este sector existe una importante dinámica de vertientes y que esta puede influir y agravar el riesgo de avenidas en este sector, como probablemente ocurrió en la avenida de 1874.

## 9.2 Sector de L'Espluga.

Este sector se sitúa al pie de los relieves de la sierra de Prades. Los materiales de este sector forman parte de los sedimentos terciarios de la cuenca del Ebro. Consisten básicamente en limos y arcillas rojizos alternados con abundantes niveles de areniscas y conglomerados. El río presenta un trazado Este-Oeste. Al tratarse de una zona de pie de monte están bien desarrollados los depósitos aluviales recientes que constituyen pequeños sistemas de abanicos aluviales. Dentro de los materiales terciarios se desarrolla un importante sistema cárstico que tiene su surgencia en la Font Major de L'Espluga. Este Karst no se ha considerado en los cálculos de avenidas, ya que su tiempo de respuesta es superior en dos días a la de la red superficial, según se desprende de las observaciones de algunos habitantes de L'Espluga. Fluvialmente, esta zona se caracteriza por la confluencia de dos ríos, el río Sec que presenta características de rambla y el río Francolí de trazado meandriforme.

### 9.2.1. Las formaciones superficiales.

A partir de la cartografía de los cauces, se han distinguido tres niveles de terrazas por criterios de posición topográfica respecto al lecho del río:

To-Terraza baja (inundable) y depósitos recientes.

T1-Terraza media

T2-Terraza alta

A los niveles de terrazas 1 y 2 se asocian depósitos coluviales (Calvet 3). Estos depósitos se representan en la cartografía geológica de este sector (ver MAPA DE FORMACIONES SUPERFICIALES Y PELIGROSIDAD POR INUNDACION DE L'ESPLUGA, en planos).

### 9.2.2. La morfología de los cursos.

El río Sec presenta una morfología de rambla. Su lecho, constituido por bloques, cantos y gravas, tiene un ancho de unos 150-200 metros y un trazado rectilíneo (Foto 1, anexo 4 y MAPA FORMACIONES SUPERFICIALES...L'ESPLUGA DE FRANCOLI en planos). En sección el lecho mayor presenta, en muchos tramos un límite difuso con la terraza del río. Este límite se reconoce por cambios en la vegetación y en la granulometría del suelo. Es interesante resaltar que sólo se ha reconocido un nivel de terraza a lo largo del cauce.

En el extremo SW de la zona cartografiada se han reconocido, con fotografía aérea, morfologías de barras fluviales y lóbulos de grandes dimensiones, del orden de 500 metros de longitud por 100 de ancho (ver mapa citado anteriormente). Estas barras por su aspecto indican episodios de avenida en los que el agua cubre todo el ancho de la rambla. El único episodio de este tipo del que tenemos evidencia documental es el del año 1874. En este año la rambla bajó totalmente llena. Existe documentación sobre esta avenida que indica que todo el recinto amurallado del monasterio de



Poblet quedó embalsado por obstrucción de la salida de aguas del barranco de Sant Bernat que lo atraviesa. El agua embalsada se liberó catastróficamente tras la rotura de la muralla. Asociamos a este hecho el lóbulo de sedimentos que se encuentra en la confluencia del barranco de Sant Bernat con el río Sec (ver mapa citado)

El lecho menor tiene unos 10 metros de ancho por un metro de profundidad, sus márgenes son abruptos (ver foto 4, anexo 4). El trazado recto del lecho menor de esta rambla se debe a unas obras de corrección realizadas el año 1978 por el ICONA. El trazado antiguo se ha reconocido en fotografía aérea, presentaba una morfología más sinuosa.

La parte final del río Sec presenta una morfología de lóbulo. El estudio en detalle del tramo de desembocadura revela que los depósitos del lecho mayor del río Sec se sitúan un metro encima de la terraza baja del río Francolí y describen una forma linguoide (ver mapa citado y foto 3, anexo 4).

Durante el trabajo de campo se reconocieron los efectos de la avenida de Semana Santa de 1991. Esta avenida presentó un caudal de unos 17 m<sup>3</sup>/s, calculados en el río Francolí a la salida de L'Espluga a partir de marcas en los márgenes del lecho. La precipitación registrada fue de unos 80 mm en la estación de Montblanc. En el río Sec el caudal debió alcanzar unos 8-10 m<sup>3</sup>/s. En esta avenida el agua cubrió todo el lecho menor y se activaron varias barras longitudinales de unos 50 m. de longitud, 4-5 de ancho y unos 70 cm. de altura. Una de estas barras obstruyó la boca del puente del camino de Milmanda (camino nº 8.142) y el agua pasó por encima del tablero (foto 5, anexo 4). Este puente tiene 90 cm. de altura y consta de 9 tuberías de 60 cm. de diámetro de las cuales se obturaron 6. También se activó una barra en la confluencia con el río Francolí (foto 7, anexo 4).

Todas estas observaciones indican que este río presenta un funcionamiento episódico y tiene una gran capacidad de transporte. Las características granulométricas del lecho del río lo hacen muy permeable. En los estadios de aguas bajas, la corriente disminuye

rapidamente y el agua circula subsuperficialmente siguiendo el límite con el substrato y infiltrándose a través de él (alimentando el sistema Kárstico). Este hecho explica que habitualmente no circule agua (y de ahí el nombre de Sec, seco en castellano). El río sólo es funcional en momentos de avenida en que la cantidad de agua que circula supera la capacidad de infiltración. Las avenidas de período de retorno corto (5 años y inferiores) generan y movilizan barras longitudinales en el cauce menor. Las avenidas de orden mayor generan y movilizan grandes barras en el cauce mayor, que si bien actualmente están revegetadas pueden volverse a reactivar por avenidas de alto período de retorno (500 años y superiores).

El río Francolí presenta una morfología meandriforme. El lecho mayor del río tiene un ancho de unos 50-100 metros. Este presenta, en general, unos límites netos con la terraza baja. El lecho menor tiene un ancho comprendido entre 1 y 10 metros. Este está fuertemente colonizado por plantas acuáticas y algas, en algunos tramos aflora el substrato rocoso terciario. Este río presenta un sistema de terrazas bien desarrollado. Se han distinguido en la cartografía tres niveles (T0, T1 y T2)(ver plano MAPA DE FORMACIONES SUPERFICIALES...DE L'ESPLUGA, en planos).

En la zona de confluencia con el río Sec se han identificado, en el lecho mayor, 4 antiguos canales abandonados ocupados por huertas. El más septentrional de ellos era funcional hace sólo 25 años según datos de los campesinos de esas huertas (ver plano citado anteriormente). Una avenida produjo una avulsión del canal modificándose el trazado, posteriormente se taponó la boca de este brazo y el canal fue cultivado. Este sector ha sido profundamente modificado por actividad humana con el objetivo de aumentar el terreno cultivable. Así el lecho menor del Francolí y la parte final del río Sec están canalizados con diques de tierra de unos tres metros de altura (fotos 6 y 7, anexo 4) para evitar la inundación del lecho mayor. Estas canalizaciones son insuficientes y es dudoso que puedan resistir una avenida de período de retorno de 25 años, las avenidas de mayor período desbordarán con seguridad

este dique. Según algunos campesinos antes de estas modificaciones la confluencia del río Sec presentaba una forma anostomosada con varios canales secundarios.

Estas observaciones indican una elevada movilidad del trazado del río. Este hecho se puede explicar debido a la gran amplitud del lecho mayor en este sector y a la interacción con el río Sec. En situaciones extremas este último puede bloquear el canal del río Francolí por el gran aporte de caudal y sedimentos. El proceso de avulsión se desencadenaría por un efecto de barrera del río Sec respecto al Francolí en los momentos de avenida. Este efecto se produciría por la mayor carga sólida del río Sec (y el agua más densa) que bloquearían el curso del Francolí desencadenando la avulsión.

En el tramo comprendido entre la desembocadura del río Sec y la salida del pueblo de L'Esplugu existen dos cascadas de unos 6 metros de salto. Estas cascadas han originado un sistema de terrazas escalonadas en este tramo.

### **9.2.3. Dinámica de Vertientes.**

El sector cartografiado presenta unas pendientes moderadamente suaves y no existen formaciones susceptibles a producir deslizamientos importantes. Se ha detectado un único movimiento en la vertiente del Capuig (en ladera situada en la margen derecha del río a la altura del puente de la Font Baixa). Se trata de un fenómeno de reptación (los arboles están inclinados a favor de la pendiente) que afecta a una antigua escombrera revegetada (posiblemente un antiguo vertedero). Si bien es un movimiento localizado podría llegar a cortar la Avenida de Catalunya (ver MAPA DE PELIGROSIDAD DE INUNDACION EN L'ESPLUGA en planos y foto nº1 del anexo 4).

## **10. MAPAS DE RIESGO POR INUNDACION.**

### **10.1. El Trazado de los mapas.**

Una vez conocidos los caudales máximos para los períodos de retorno elegidos y sus alturas correspondientes, en varios puntos a lo largo de los tramos de estudio, se procede al dibujado de las zonas inundables.

El proceso consiste en representar en el mapa las zonas que quedan por debajo de una determinada cota de agua. Se han dibujado las zonas inundables en las avenidas de periodo de retorno consideradas. En los mapas se han representado las alturas para los periodos de retorno de 25 y 500 años y la altura equivalente a una avenida del orden de magnitud de la de 1874 en L'Espluga y de la de 1930 en Vilavert.

Para la delimitación de las zonas inundables es esencial disponer de una base cartográfica detallada que permita definir con precisión la zona inundable.

En el sector de Vilavert la equidistancia entre las curvas de nivel es de 5 metros. Este hecho ha dificultado el trazado del mapa e introduce bastante indeterminación. Ha sido necesario utilizar criterios de tipo geomorfológico para definir con mayor precisión el mapa.

En la zona de L'Espluga la equidistancia entre las curvas de nivel es de 0.5 metros con lo qual el grado de detalle y la fiabilidad son satisfactorios. El trazado del mapa se ha realizado aquí utilizando perfiles longitudinales del río que nos permiten obtener los calados para cada punto del cauce (ver planos SECCIONES LONITUDINALES DE L'ESPLUGA DE FRANCOLI en planos).

## 10.2. Grado de fiabilidad

Los mapas de riesgos por inundación se están realizando desde hace relativamente poco tiempo y aún no existe una metodología totalmente satisfactoria que permita reducir las indeterminaciones a un nivel deseable y a un coste razonable. Las principales fuentes de error de estos mapas provienen de los siguientes aspectos:

- 1-Indeterminación debida a la falta de series suficientemente largas de registros de lluvias y caudales.
- 2-Indeterminaciones introducidas en los modelos de precipitación-escorrentía.
- 3-Indeterminación debida al uso de modelos hidráulicos simplificados.
- 4.-Indeterminación debida a la falta de detalle de la base topográfica.

Para superar estas indeterminaciones se han tomado las siguientes medidas:

- 1-La serie de caudales, de 42 años, es una serie relativamente corta. Es un grave problema del análisis de frecuencias la extrapolación para estimar los eventos de muy baja probabilidad de ocurrencia. En este sentido los valores obtenidos más allá de la avenida de 100 años presentan mucha indeterminación. No existe todavía una solución a este problema. Se ha calculado la avenida de periodo de retorno de 500 años y es notablemente inferior a las avenidas históricas. Por ello hemos optado por la representación en los mapas de una zona inundable provocada por un caudal equivalente a una avenida histórica, aunque desconozcamos la probabilidad de ocurrencia de dicho fenómeno. Se ha cartografiado la zona inundable por una avenida de 500 m<sup>3</sup>/s en L'Espluga (que equivale al caudal de la avenida de 1874) y por una avenida de

900 m<sup>3</sup>/s en Vilavert. Las abundantes referencias sobre los danos de la avenida de 1874 en L'Esplugu han permitido un buen calibrado de las cotas de esa avenida y a su vez de las de caudal inferior.

2-Este aspecto se ha superado satisfactoriamente con el calibrado del modelo hidrológico con los caudales obtenidos por el análisis estadístico. Ya que las series de precipitación tienen una longitud similar a las de caudal los problemas debidos al punto 1 no afectan a estos resultados (lo básico de este modelo es establecer una relación precipitación-escorrentía).

3-Este aspecto se ha superado con el uso de los datos históricos. Las indeterminaciones de este tipo son secundarias y se encuentran en el límite o por debajo de la resolución de los mapas empleados.

4-Las indeterminaciones de este tipo afectan a Vilavert. Se ha utilizado para solventarlas criterios geomorfológicos. Esta indeterminación condiciona la fiabilidad del mapa.

De todas formas es necesario dejar claro que los límites trazados son aproximados si bien totalmente válidos para los objetivos propuestos.

### 10.3. Utilidad del mapa.

Estos mapas permiten conocer las zonas inundables a nivel municipal, con objetivo de planificar los usos del suelo y evitar la ubicaciones de diversas actividades que puedan ser afectadas o puedan generar problemas.

El mapa diferencia tres zonas inundables:

Zona 1- Avenida con periodo de retorno de 25 años

Zona 2- Avenidas con periodo de retorno de 500 años

Zona 3- Avenida histórica

El mapa presenta una zonación de las areas inundables en función de unas probabilidades de ocurrencia. El límite exterior de esta zonación está definida por la máxima altura de agua de la que tenemos conocimiento. Estas zonas se han establecido para identificar diferentes grados de peligro y de danos potenciales y tambien como propone la Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator (UNDRO, 20) para delimitar a través de legislación (local o nacional) el tipo y la densidad de ocupación de estas zonas. En este proyecto se propone una zonificación de las areas inundables y unas limitaciones a los usos del suelo en estas. El sentido propuesto para las tres zonas es el siguiente:

**Zona 1-Zona Prohibida** (Lecho menor de avenida). Su límite exterior está definido por el nivel máximo de la avenida de periodo de retorno de 25 años.

Zona con prohibición de usos estructurales. Se destina a usos que **no impliquen modificaciones estructurales de esta zona** (prohibición de construcción de muros, terraplenes, edificios...). Sólo se permitirán usos de tipo no estructural como actividades agrícolas (huertos familiares...). Es recomendable emprender acciones de limpieza de los cauces (vertidos, zonas de vegetación muy densa ...) para facilitar el paso del agua.

**Zona 2- Zona con restricciones de tipo 1** . El límite exterior de esta zona esta definido por el nivel máximo de la avenida de

periodo de retorno de 500 años. El límite interior queda definido por el límite con la zona prohibida (zona 1).

Se recomienda destinar esta zona para usos no estructurales (principalmente actividades agrícolas). Se permitirán usos de tipo estructural para obras de infraestructura (colectores, depuradoras, balsas...) o pequeñas obras agrícolas (pequeños muros, casetas...). No se permitirá la construcción de viviendas. Las viviendas existentes tendrían de emprender obras de protección a definir para cada caso.

**Zona 3-Zona con restricciones de tipo 2.** El límite exterior de esta zona está definido por el límite de la zona inundada por la mayor avenida conocida. El límite interior queda definido por el límite de la zona 2.

Se recomienda dar a esta zona un uso de ocio y deportivo (campo de fútbol, jardines...). Se permitirán usos estructurales pero informando del riesgo de inundación. Las construcciones dentro de esta zona tienen que prever la posibilidad de inundación en su diseño (primeras plantas abiertas, sin muros, destinadas a aparcamientos..., terraplenes, diques de protección).

#### 10.4. Inventario de Puntos Problemáticos.

A partir de los mapas de riesgos hemos realizado el siguiente inventario de puntos que entranan riesgo frente a las avenidas. Los puntos descritos se sitúan en los tres mapas presentados en la sección de planos.

##### **10.4.1. Sector de Vilavert**

.Punto 1.-Deslizamiento rotacional activo que progresa sobre el lecho del río, puede obstruir el cauce y crear un represamiento.



- .Punto 2.-Masía de La Farga. Se inundó por sobreelevación de la lámina de agua debida a un represamiento durante la avenida de 1874.
- .Punto 3.-Deslizamientos rotacionales en el talúd de la vía férrea, fueron activos durante la apertura de la vía.
- .Punto 4.-El Barroig. Zona con fuerte socavación y caída de grandes bloques, existen bloques de gran dimensión en posición inestable que pueden llegar a crear represamientos del río.
- .Punto 5.-Terraplén de la nueva variante de Vilavert. Tubería mal diseñada, se sedimentan arrastres que provocan una fuerte pérdida de sección.
- .Punto 6.-Puente de Arguelles. Puente de tuberías, insuficiente para una avenida de P.R. de 5 años.
- .Punto 7.-Torrente de les Masies. Discurre dentro del núcleo urbano de Vilavert, está insuficientemente canalizado y provoca problemas de arrastres y inundación. Está en ejecución un proyecto de encauzamiento del mismo por parte de la Junta d'Aigües.
- .Punto 8.-Puente de tuberías insuficiente para la avenida de 5 años.
- .Punto 9.-Granja ubicada en zona inundable para una avenida de 500 años.

#### **10.4.2 Sector de L'Espluga**

- .Punto 1.-Dique de protección bastante degradado, sería necesario recrecerlo.
- .Punto 2.-Canalización insuficiente del Río Francolí en su confluencia con el Río Sec, desbordable para una avenida de 25 años.
- .Punto 3.-Canalización insuficiente del Río Sec en su confluencia con el Río Francolí, desbordable para una avenida de 25 años.
- .Punto 4.-Canalización insuficiente del Río Francolí desbordable

para una avenida de 25 años.

- .Punto 5.-Escombrera ilegal en la Font Major, obstruye el lecho mayor de avenida del río Francolí.
- .Punto 6.-Fábrica-almacén y vivienda situados en la zona inundable para avenida de unos 500 m<sup>3</sup>/s.
- .Punto 7.-Edificio que fué inundado en la avenida de 1874.
- .Punto 8.-Antiguo molino de la Farga (en la Font Major), actualmente granja avícola y vivienda. Inundable por avenidas de 100 años y superiores.
- .Punto 9.-Edificio que fué probablemente inundado en la avenida de 1874.
- .Punto 10.-Almacén inundable para la avenida de 25 años.
- .Punto 11.-Almacén inundable para la avenida de 500 años.
- .Punto 12.-Edificio inundable para avenida de unos 500 m<sup>3</sup>/s (equivalente a la avenida histórica).
- .Punto 13.-Zona modificada por vertido de esteriles. Es necesario evitar nuevos vertidos, la sección de todas formas puede, actualmente, absorber todas las avenidas calculadas.
- .Punto 14.- Aguas abajo del puente de la Font Baixa escombreras de vertido libre que ocupan el lecho mayor.
- .Punto 15.-Terraplén de las obras de la vía férrea, ocupa parte del cauce.
- .Punto 16.-Puente de La Palanca. Infradimensionado para una avenida de 500 m<sup>3</sup>/s.
- .Punto 17.-Zona con vivienda en proyecto, inundable para una avenida de 500 m<sup>3</sup>/s.
- .Punto 18.-Zona con fuerte incisión por aguas de escorrentía no canalizadas.
- .Puntos 19,20 ,22 y 23.-Peligro de inundación en algunas calles del pueblo debido a tres pequeñas cuencas situadas aguas arriba del núcleo urbano y insuficientemente captadas.
- .Punto 21.-Fenómenos de reptación activos en la vertiente norte del Capuig, peligro de inestabilidad y desprendimiento frente a lluvias intensas.
- .Punto 24.-Casa situada en el lecho mayor del río Sec.

- .Punto 25.-Granja avícola situada en el lecho mayor del río Sec.
- .Punto 26.-Molino d'En Guasc, se inundó durante la avenida de 1930.
- .Punto 27.-Molino Dels Frares, destruído en la avenida de 1874.
- .Punto 28.-Puente de tuberías en el camino de Milmanda sobre el río Sec. Insuficiente para la avenida de 5 anos, fuertes problemas por la gran capacidad de transporte del río Sec.
- .Punto 29.-Vertido de estériles en el tramo final del río Sec. Pueden modificar la pendiente del río y crear represamientos en momentos de ocupación del lecho mayor.
- .Punto 30.-Obras de captación insuficientes de una de las cuencas vertientes al casco urbano. Sección insuficiente y posibilidad de obstrucción de la entrada de la canalización.
- .Punto 31.-Proyecto de urbanización en los márgenes del río Sec (Camino de Milmanda). El emplazamiento previsto linda con el lecho mayor de inundación del río (zona 3, ocupada por las aguas en 1874). Al tratarse de un límite difuso (no existiendo desnivel entre la zona considerada inundable y la zona de proyecto) es aconsejable la realización de un estudio detallado del sector que permita evaluar la peligrosidad del mismo y definir, en su caso, las medidas a tomar.

## 11. CONCLUSIONES.

- 1.-A partir del análisis de los datos históricos se ha estimado un caudal de 500 m<sup>3</sup>/s para la avenida de 1874 en L'Espluga. Para la avenida de 1930 se ha estimado un caudal de 650 m<sup>3</sup>/s aguas arriba de L'Espluga (Molí d'En Guasc); para el sector de Vilavert estimamos correcto el valor de 1094 m<sup>3</sup>/s.
- 2.-La avenida de 1874 pese a tener un caudal menor provocó más danos que la avenida de 1930. Esto se debe, probablemente, a que la vulnerabilidad disminuyó entre las dos avenidas por el abandono de las actividades tradicionales de aprovechamiento del río.
- 3.-Se ha realizado un modelo hidrológico que ha permitido el cálculo de caudales máximos de avenida en 15 puntos de la cuenca. Los resultados se han calibrado con la serie de datos de caudal de la estación de aforos de Montblanc. Se han calculado caudales para periodos de 5, 25, 100 y 500 años.
- 4.-Se han representado las zonas inundables en mapas a escala 1:1.000 (sector de L'Espluga) y 1:5.000 (sector de Vilavert), también se han representado los riesgos asociados a la dinámica de vertientes y las formaciones superficiales.
- 5.-El sector de L'Espluga se caracteriza por la confluencia de una importante rambla (Río Sec) con el río Francolí.
- 6.-El sector de Vilavert se caracteriza por un trazado meandiforme del río y la existencia de una importante dinámica de vertientes que, historicamente, ha creado represamientos del río.

7.-Se ha realizado un inventario de puntos conflictivos de los dos sectores.

En el sector de Vilavert el problema más grave es un cauce que atraviesa el casco urbano y la dinámica de vertientes que puede crear represamientos del río. El represamiento tendría importantes repercusiones en las zonas bajas de la cuenca al concentrar el pico de la avenida, su efecto sobre Vilavert no es preocupante.

En el sector de L'Espluga los problemas más graves se deben a falta de canalización de pequeñas cuencas que atraviesan el casco urbano, al vertido de estériles en el cauce y a la existencia de un puente infradimensionado para la avenida de 500 años. Finalmente se recomienda la realización de un estudio de peligrosidad del proyecto de urbanización de la margen derecha del río Sec.

## 12. BIBLIOGRAFIA.

- 1.-ANGUERA, P. (1985).-"La construcció del Ferrocarril Reus-Montblanc-Lleida". Aplec de Treballs del Centre d'Estudis de la Conca de Barberà, nº 7, pp.60-69. Montblanc.
- 2.-CALBET J.M. y VALLRIBERA P. (1990).-"Medicina y societat a L'Espluga de Francolí (segles XVIII-XIX)". Seminari Pere Mata, Universitat de Barcelona. Barcelona.
- 3.-CALVET J. (1976).-"Notas geomorfológicas sobre un sector del contacto Depresión Central Catalana-Cordillera Prelitoral (alrededores de L'Espluga de Francolí)". Acta Geológica Hispanica, ano XI, nº2, pp.25-32.
- 4.-COMISION TECNICA DE INUNDACIONES (1983).-"Las inundaciones en Espana. Informe General". Comisión Nacional de Protección Civil, Secretaria General Técnica, Servicio de Publicaciones, Madrid.
- 5.-DINGMAN S.L. (1984).-"Fluvial Hidrology". Freeman and co. Press. New York.
- 6.-ESCRIBA, J (1989).-"Hidraulica para Ingenieros". Colección Obras Hidráulicas, Ed. Bellisco, Madrid.
- 7.-IGLESIES, J (1971).-"L'aiguat de santa Tecla". Episodis de la Història, Rafael Dalmau Editor, Barcelona.
- 8.-ITGE (1984).-"Mapa Geotécnico y de Riesgos Geológicos para la ordenación urbana de Alcoy". Servicio de Publicaciones ITGE, Madrid.

- 9.-ITGE (1984).--"Establecimiento de criterios geológicos para la prevención de danos por avenidas. Aplicación a las inundaciones en el valle del Nervión". Servicio de Publicaciones ITGE, Madrid.
- 10.-ITGE (1985).--"Dinámica Fluvial de la Plana de Levante (provincias de Castellón y Valencia). Mapas de Riesgos". Servicio de Publicaciones ITGE, Madrid.
- 11.-ITGE (1987).--"Impacto económico y social de los riesgos geológicos en Eapana". Servicio de Publicaciones ITGE, Madrid.
- 12.-ITGE (1986).--"Mapa previsor de riesgos por inundaciones en núcleos urbanos de Andalucía y Extremadura". Servicio de Publicaciones ITGE, Madrid.
- 13.-ITGE (1987).--"Mapas previsores de riesgos de inundaciones en nucleos urbanos de la comunidad de Murcia". Servicio de Publicaciones ITGE, Madrid.
- 14.-ITGE (1987).--"Mapas previsores de riesgos de inundaciones en núcleos urbanos de la comunidad valenciana". Servicio de Publicaciones ITGE, Madrid.
- 15.-ITGE (1989).--"Estudio de riesgos naturales en la ciudad de Alcoy. Riesgo de Avenidas, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico. Mapas de Peligrosidad.". Servicio de Publicaciones ITGE, Madrid.
- 16.-ITGE (1989).--"Mapas previsores de riesgo de inundación en los núcleos urbanos de Güimar y Playa de Las Americas (Tenerife)". Servicio de Publicaciones ITGE, Madrid.

- 17.-MONTALBAN, F y NOVOA, M (1979).-"Inundaciones del 18-19 de Octubre de 1930 en el río Francolí (Tarragona, Avenida de Sant Lluç)". Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental (actualmente Junta d'Aigües), informe interno, Barcelona.
- 18.-MOPU, Dirección General de Carreteras (1978).-"Isolíneas de precipitación máxima previsible en un día". Servicio de Publicaciones del MOPU, Madrid.
- 19.-MOPU, Dirección General de Obras Hidráulicas (1984).-"Análisis General de las Inundaciones en la Península", Madrid.
- 20.-OFFICE OF THE UNITED NATIONS DISASTERS RELIEF COORDINATOR (UNDRO) (1978).-"Disaster Prevention and Mitigation. A compendium of Current Knowledge", Vol.2 Hydrological Aspects, ONU, Génova.
- 21.-TEMEZ, J.R. (1978).-"Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales". Dirección General de Carreteras, MOPU, Madrid.



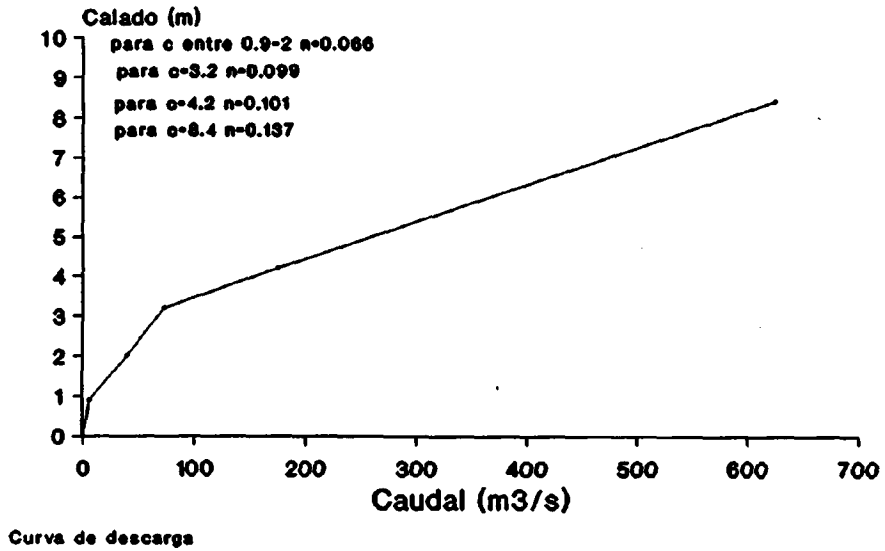
ANEXOS

**ANEXO Nº 1**

**CURVAS DE DESCARGA DEL SECTOR DE VILAVERT.**

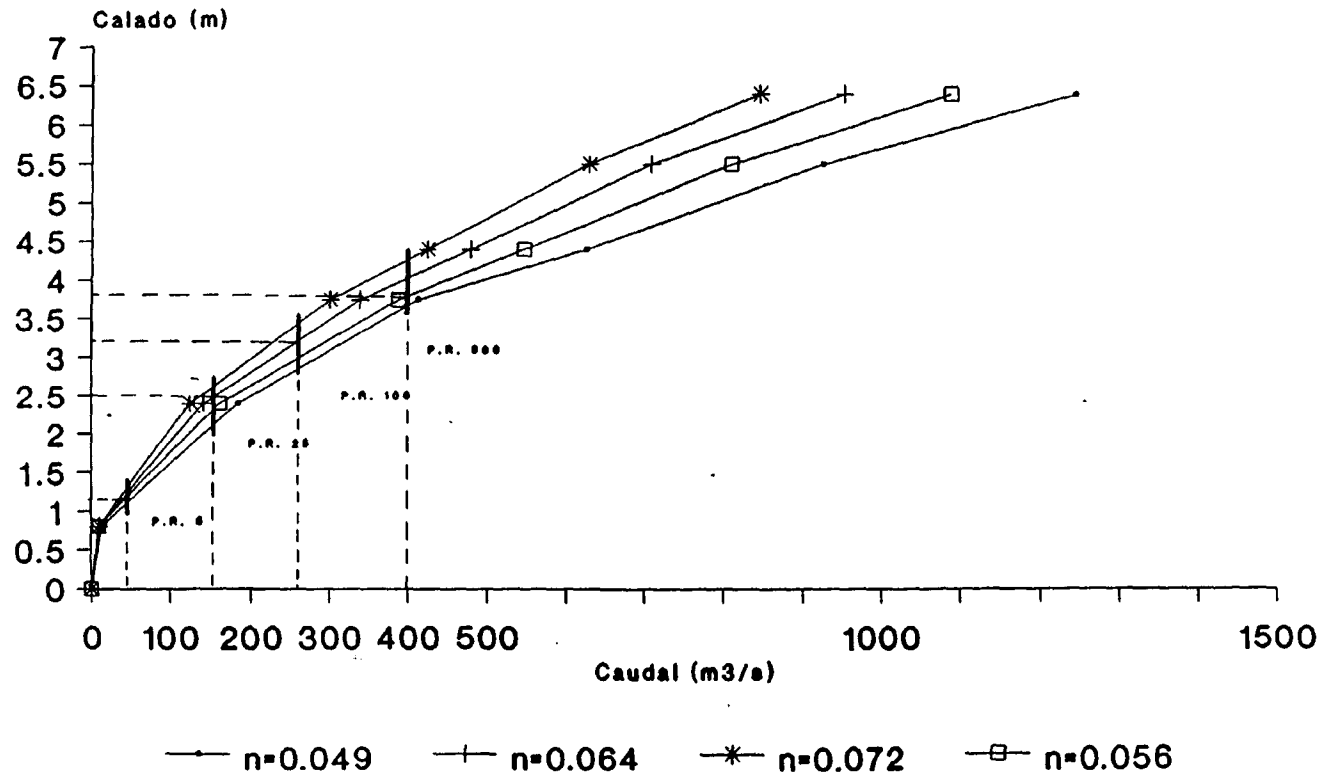
# Sección 3

## Puente Roca Xanxa



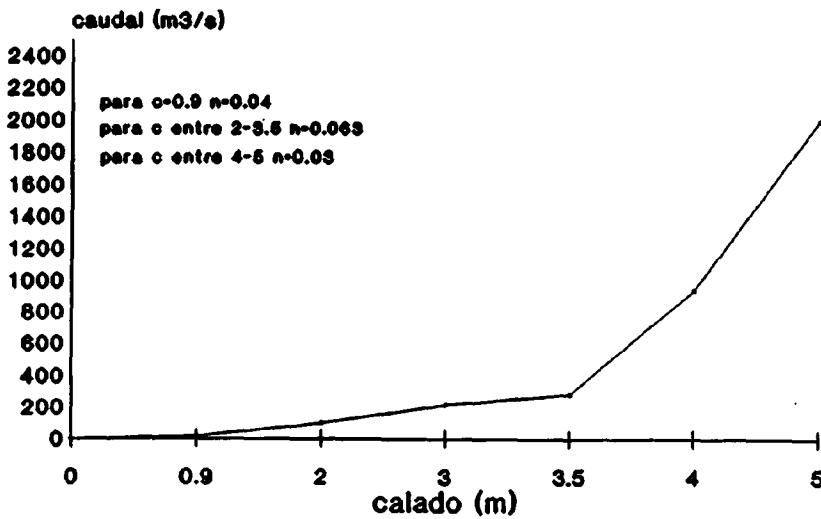
# Sección 4

## Puente Sur Vía Férrea (Vilavert)



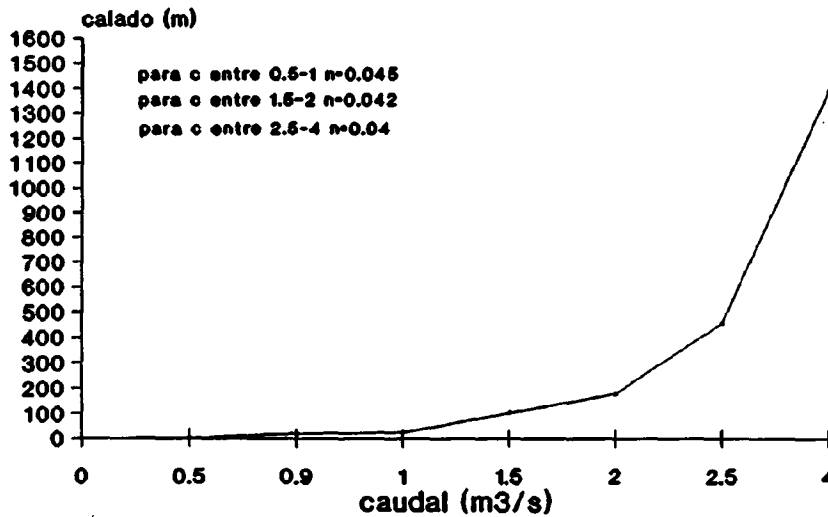
Curvas de descarga para distintas n

# Sección 5 El Barroig



Curva de descarga

# Sección 6 Vilaverd Norte



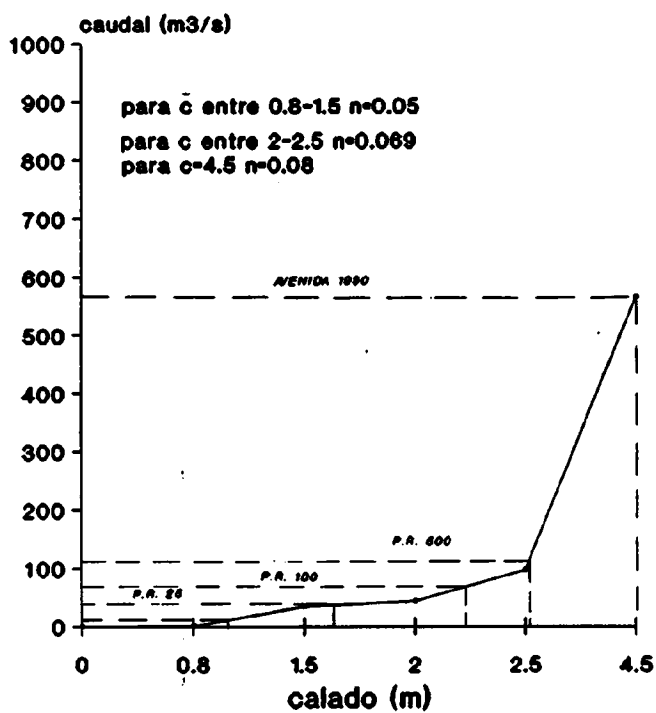
Curva de descarga

**ANEXO Nº 2**

**CURVAS DE DESCARGA DEL SECTOR DE L'ESPLUGA.**

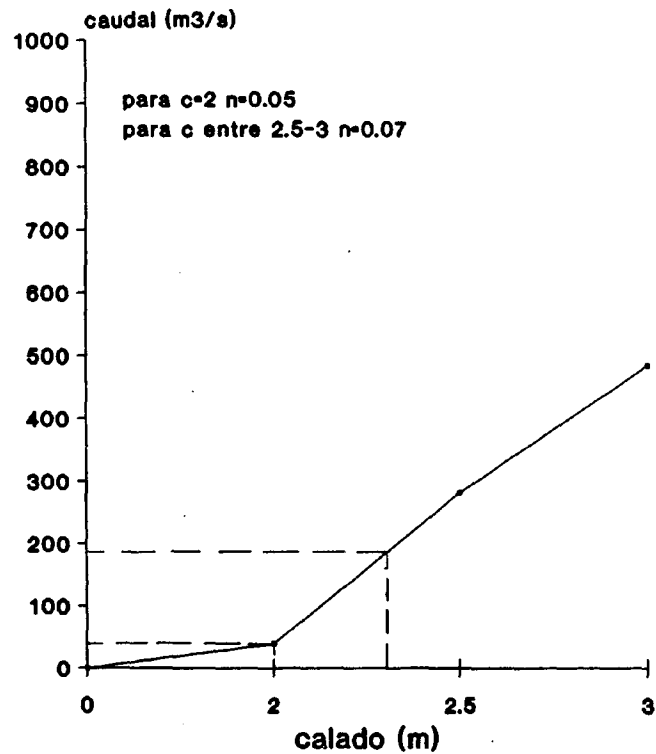
# Sección 1

## Molí d'en Guasc



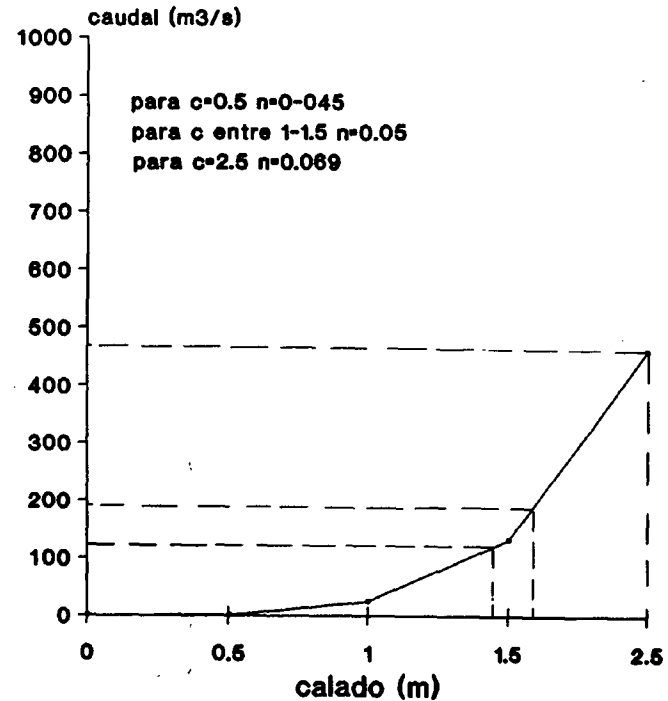
Curva de descarga

## Sección 2



Curva de descarga

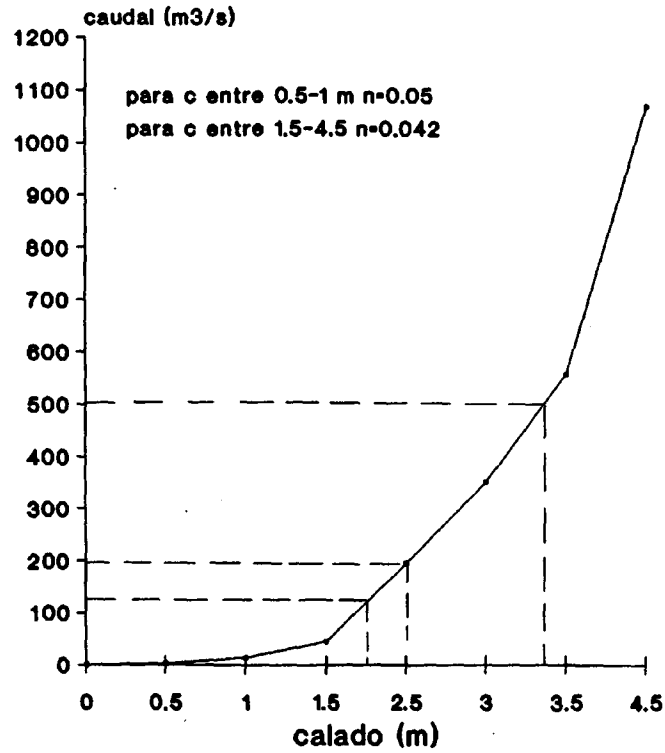
## Sección 3 Font Major



Curva de descarga

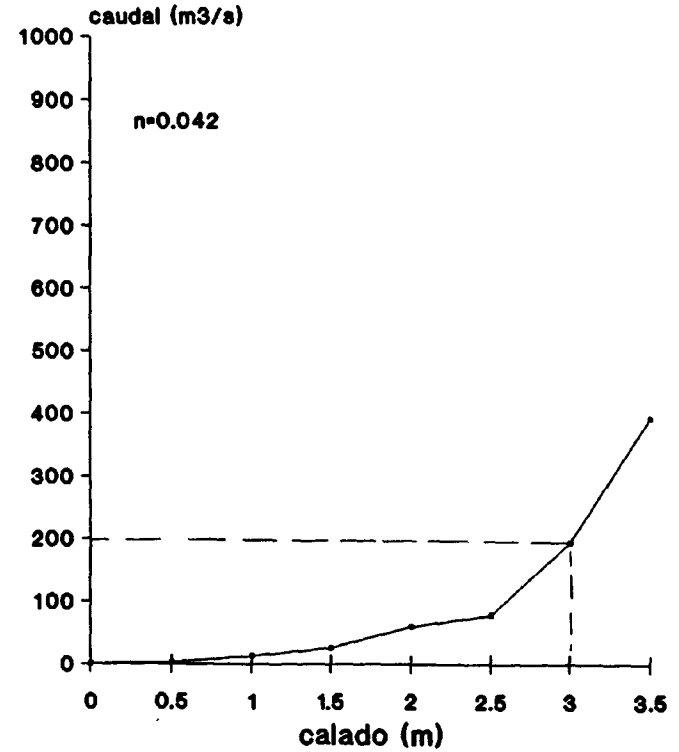


## Sección 5



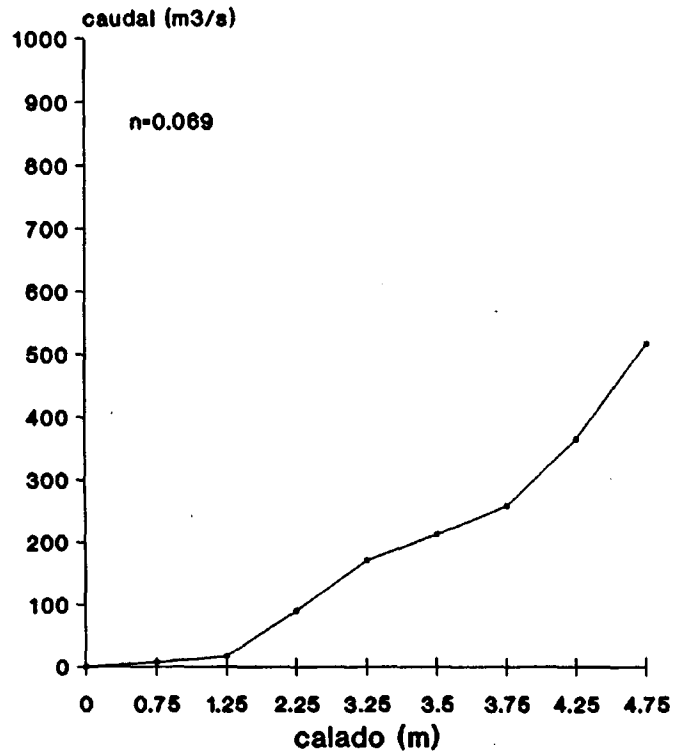
Curva de descarga

## Sección 6



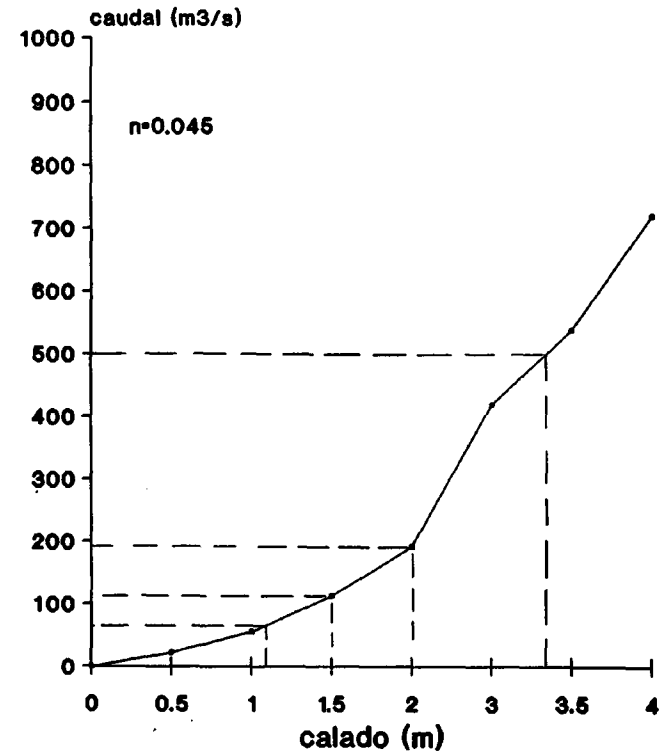
Curva de descarga

## Sección 7



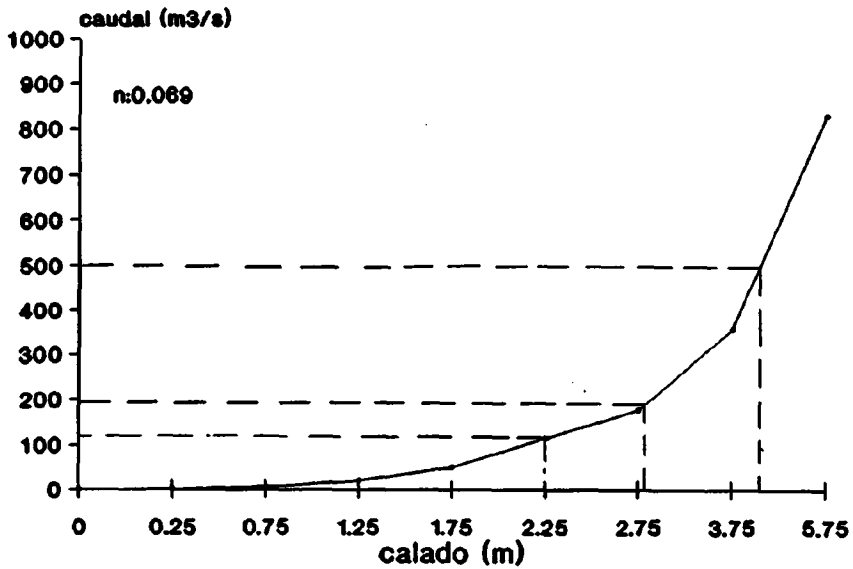
Curva de descarga

## Sección 9



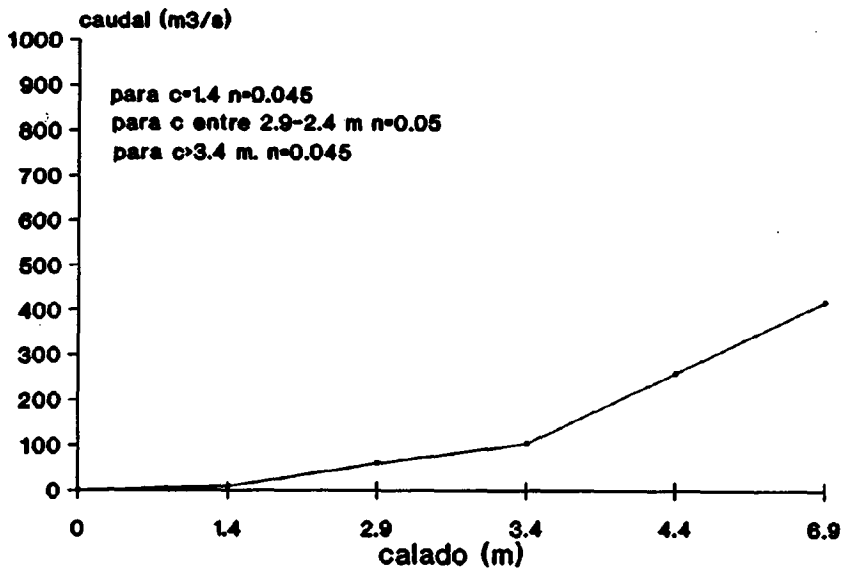
Curva de descarga

## Sección 12



Curva de descarga

## Sección 13



Curva de descarga

**ANEXO N° 3**

**FOTOGRAFIAS DEL SECTOR DE VILAVERT.**



Foto 1.-Estación de aforos de Montblanc.



Foto 2.-Vista general de Vilavert.





Foto 3.-Confluencia del Barranco de La Vall (izquierda) con el Francolí; al fondo, movimiento rotacional y caída de bloques.



Foto 4.- Lecho menor del Francolí en la sección 4. Al fondo carretera de Reus a Montblanc. El escarpe del fondo corresponde a la cicatriz de un deslizamiento antiguo.



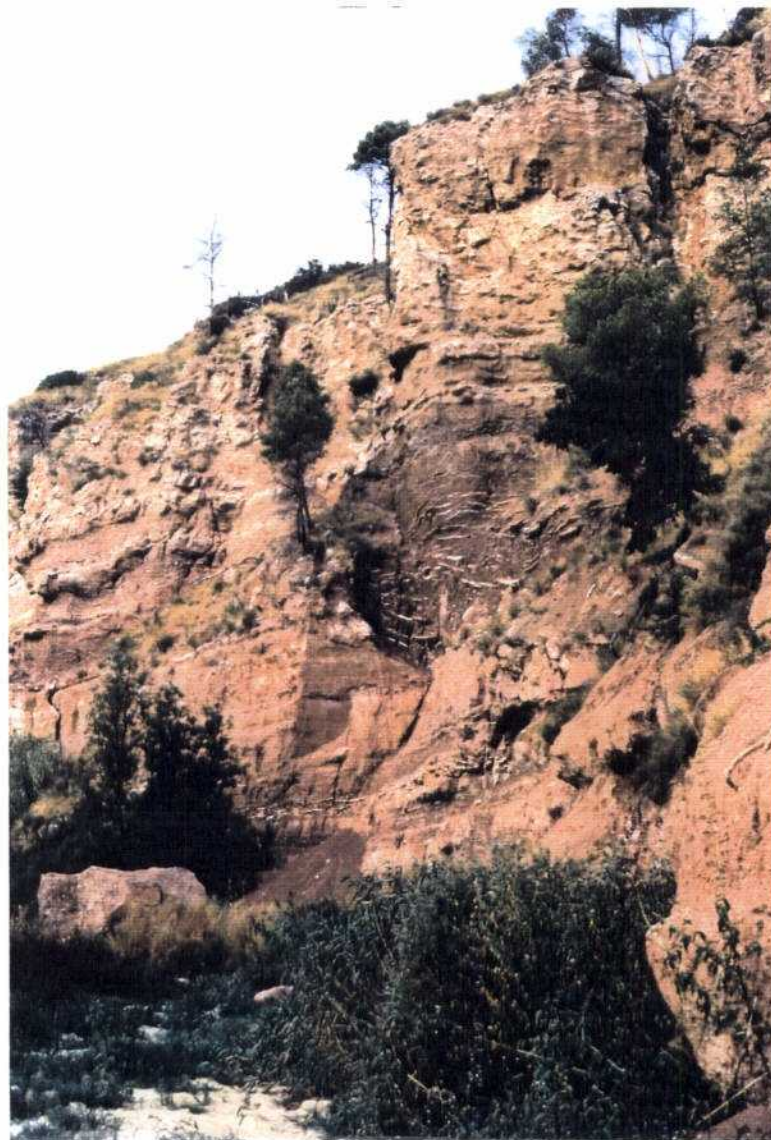


Foto 5.- Gran deslizamiento situado entre los dos puentes de la línea férrea. Las flechas pequeñas indican la cicatriz del deslizamiento. Las flechas mayores señalan dos deslizamientos menores. La vía discurre en trinchera entre el frente del deslizamiento y los campos de cultivo (terracea alta del Francofi)

Foto 6.- Bloque inestable en la zona del Barroig (sección 5), en el lecho bloque caído recientemente.

**ANEXO Nº 4**

**FOTOGRAFIAS DEL SECTOR L'ESPLUGA.**





Foto 1.- Vista general de l'Espluga de Francolí tomada sobre los años 70. 1.Río Sec, 2.Vertiente del Capuig, zona con inestabilidad , 3.Situación del antiguo cementerio (inundado por la avenida de 1874), 4.Puente de la Font Baixa (destruido en 1874),5.Puente de La Palanca (destruido en 1874).



Foto 2.-Escombrera que ocupa el cauce, situada entre los dos puentes.





Foto 3.-Vista general de l'Espluga desde la carretera nacional. 1.Río Sec, 2.Río Francolí, 3.Límite del lóbulo de sedimentos del río Sec situado sobre la terraza del Francolí, 4.Confluencia de los dos ríos, 5. Muro de defensa (punto 1 del mapa de peligrosidad).





Foto 4.-Lecho menor del río Sec.



Foto 5.-Puente de tuberías sobre el río Sec (camino de Milmanda). Efectos de la avenida de Semana Santa de 1991.





Foto 6.-Lecho canalizado de río Francolí, aguas arriba de la confluencia con el río Sec.



Foto 7.-Confluencia del río Sec (a la derecha) con el río Francolí. Barra de sedimentos movilizada durante la avenida de Semana Santa de 1991.

**PLANOS**



**LEYENDA**

-  Zona inundable (periodo de retorno 25 años)
-  Zona inundable (periodo de retorno 500 años)
-  Zona inundable para avenida con 500 m<sup>3</sup>/s (equivalente avenida 1874)
-  Zona inundada en 1874, no inundable para 500 m<sup>3</sup>/s por modificación cauce
-  Edificio inundable (P.R. 25 años)
-  Edificio inundable (P.R. 500 años)
-  Edificio inundable para avenida de 500 m<sup>3</sup>/s (eq. avenida 1874)
-  Edificio inundado avenida 1874, no inundable para 500 m<sup>3</sup>/s
-  Canalización o puente con sección insuficiente
-  Muro de tierra insuficiente
-  Obstrucción del cauce por vertidos
-  Incisión por aguas de escorrentía no canalizadas
-  Peligro de escorrentía superficial
-  Deslizamiento del terreno activo (reptación)

La numeración en el mapa se refiere al inventario de puntos conflictivos (ver memoria).

NOTA: LOS CONTACTOS SON APROXIMADOS





**MAPA DE PELIGROSIDAD DE INUNDACION**  
**DE L'ESPLUGA DE FRANCOLÍ.**

Escala 1:1000 50 m.

Autores: J.Pujadas  
 D.Barellino













MAPA DE FORMACIONES SUPERFICIALES  
 Y DE PELIGROSIDAD POR INUNDACION  
 DE L'ESPLUGA DE FRANCOLÍ

Autors: J.Pujadas  
 D.Sanefino

Escala 15.000

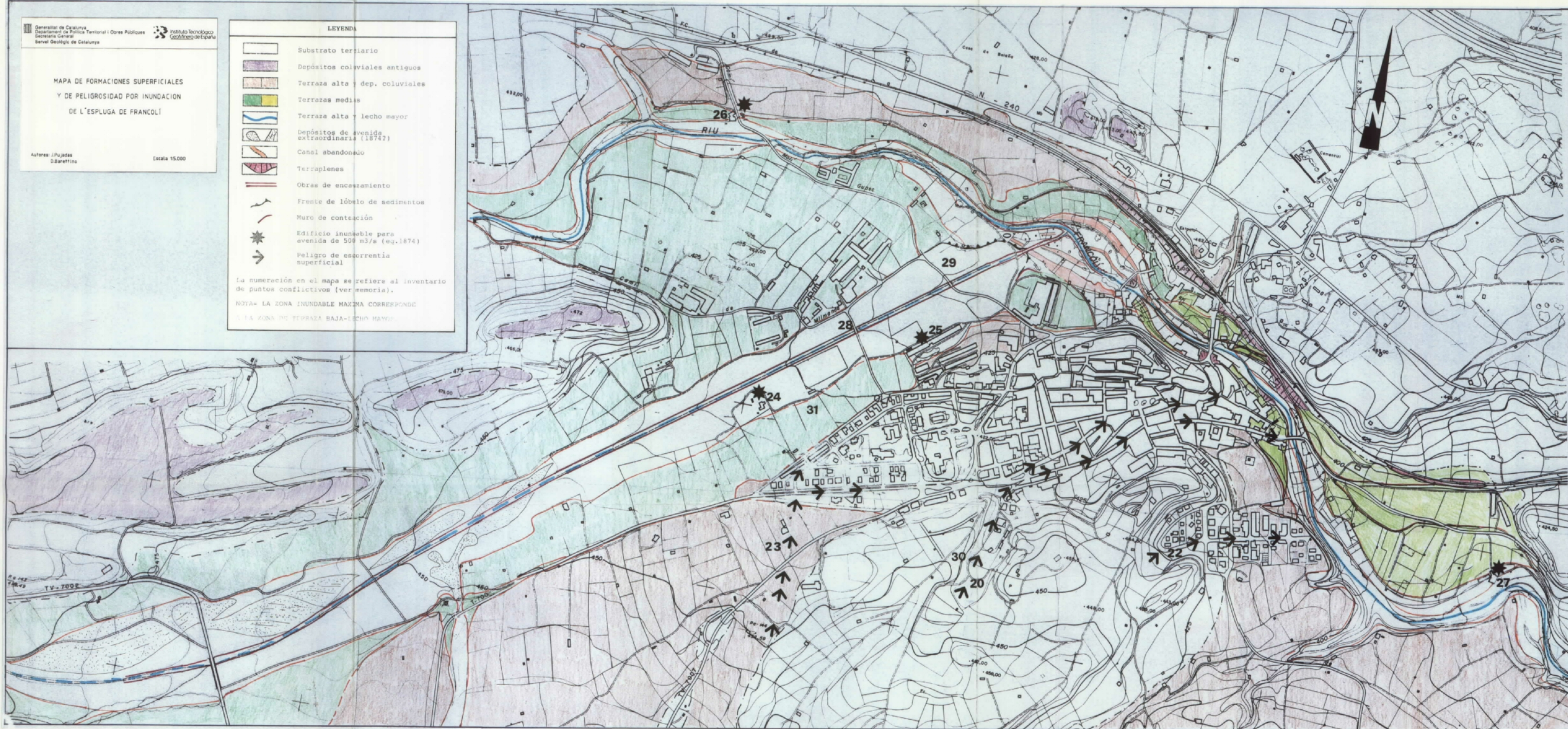
LEYENDA

-  Substrato terciario
-  Depósitos coluviales antiguos
-  Terraza alta y dep. coluviales
-  Terrazas medias
-  Terraza alta y lecho mayor
-  Depósitos de avenida extraordinaria (1874?)
-  Canal abandonado
-  Terraplenes
-  Obras de encauzamiento
-  Frente de lóbulo de sedimentos
-  Muro de contención
-  Edificio inundable para avenida de 500 m<sup>3</sup>/s (eq.1874)
-  Peligro de escorrentía superficial

La numeración en el mapa se refiere al inventario de puntos conflictivos (ver memoria).






NOTA- LA ZONA INUNDABLE MÁXIMA CORRESPONDE

A LA ZONA DE TERRAZA BAJA-LECHO MAYOR





LEYENDA DEL MAPA Nº 5

	Calizas nodulosas terciarias		
	Arcillas y limos con niveles de yeso		
	Terraza alta		
	Terraza media		
	Terraza baja		
	Lecho mayor y depósitos recientes		
	Depósitos coluviales y torrenciales antiguos		
	ZONA INUNDABLE (periodo de retorno 100 años)		
	ZONA INUNDABLE (periodo de retorno 500 años)		
	ZONA INUNDABLE (para avenida con 900 m <sup>3</sup> /s)		
	Zona inundada en 1874 por represamiento del río		
	Cicatriz de deslizamiento activo o con actividad conocida documentalmente		
	Cicatriz de deslizamiento inactivo		
	Socavamiento muy activo		Edificio inundable (P.R. 500 años)
	Socavamiento activo		Edificio inundado (1874)
	Caidas de bloques		Sección insuficiente
	Deslizamiento traslacional		Peligro de escorrentia superficial
	Deslizamiento rotacional		Estación de aforos
	Des. rotacional-traslacional		
			
			
	Escarpe rocoso		

La numeración en el mapa se refiere al inventario de puntos conflictivos (ver memoria).

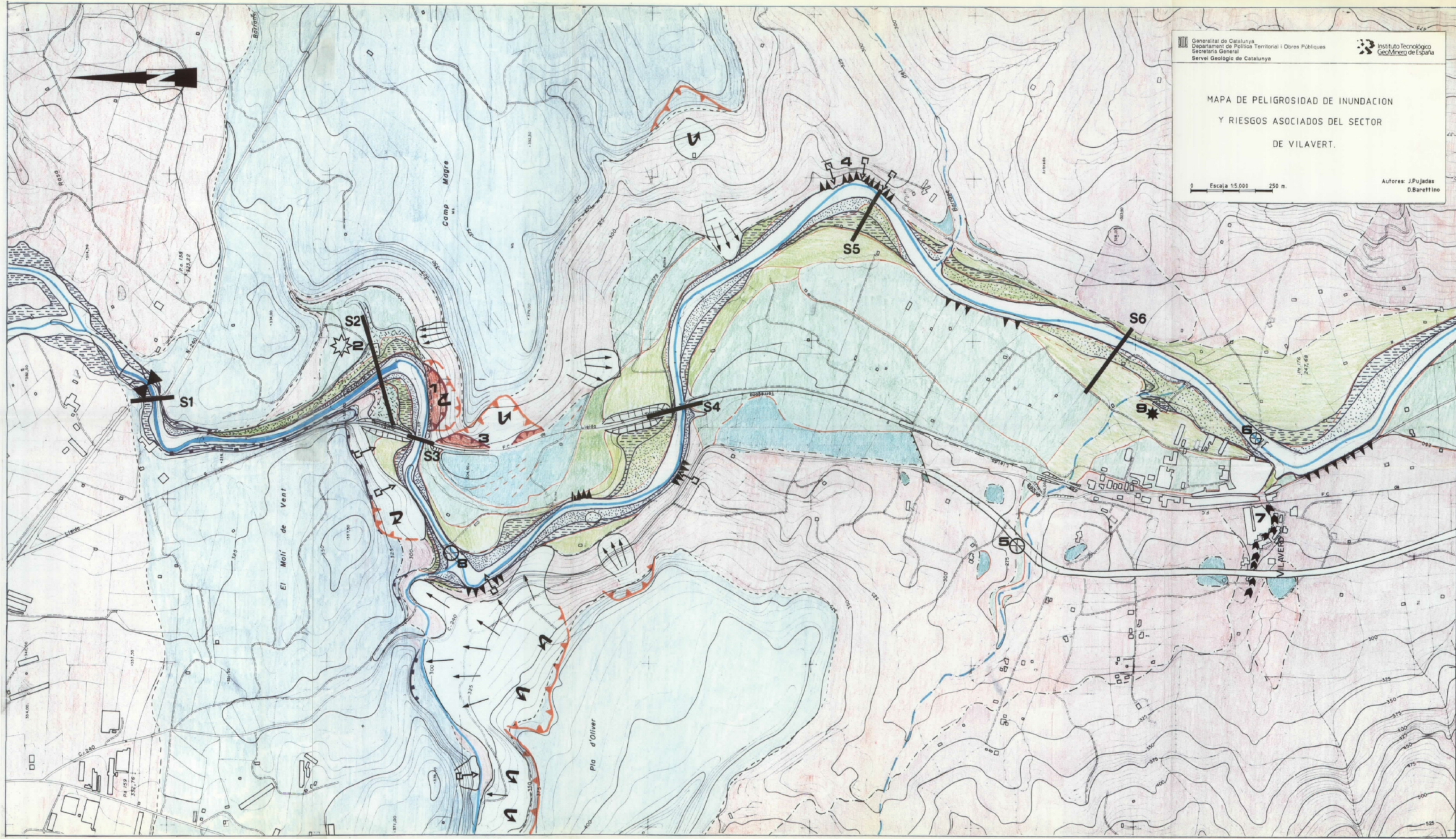
NOTA : LOS CONTACTOS DE LA ZONA INUNDABLE SON APROXIMADOS.



MAPA DE PELIGROSIDAD DE INUNDACION  
Y RIESGOS ASOCIADOS DEL SECTOR  
DE VILAVERTE.

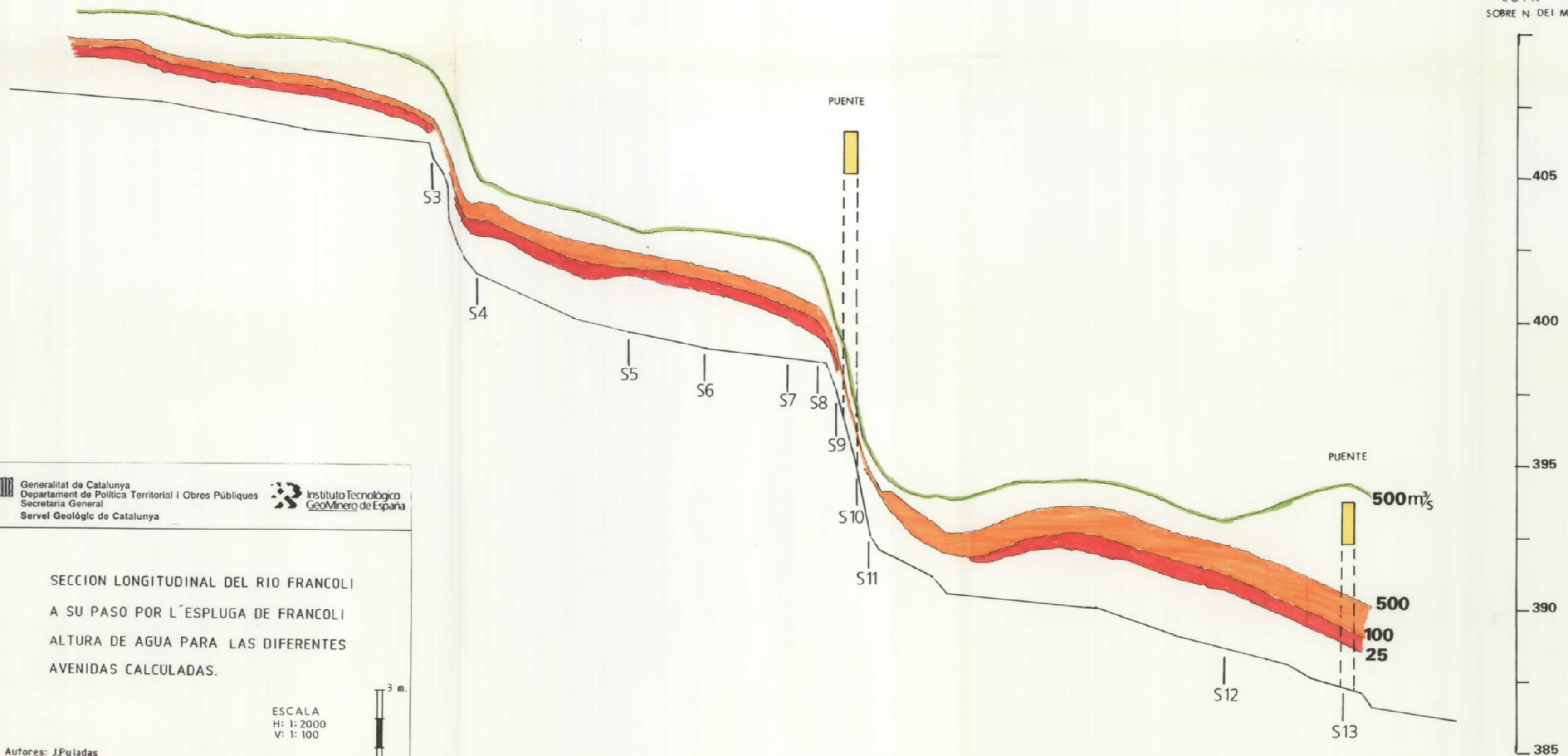
Escala 1:5.000 250 m.

Autores: J.Pujadas  
D.Barrettino





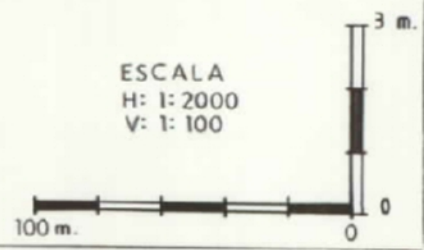
COTA  
SOBRE N. DEL MAR



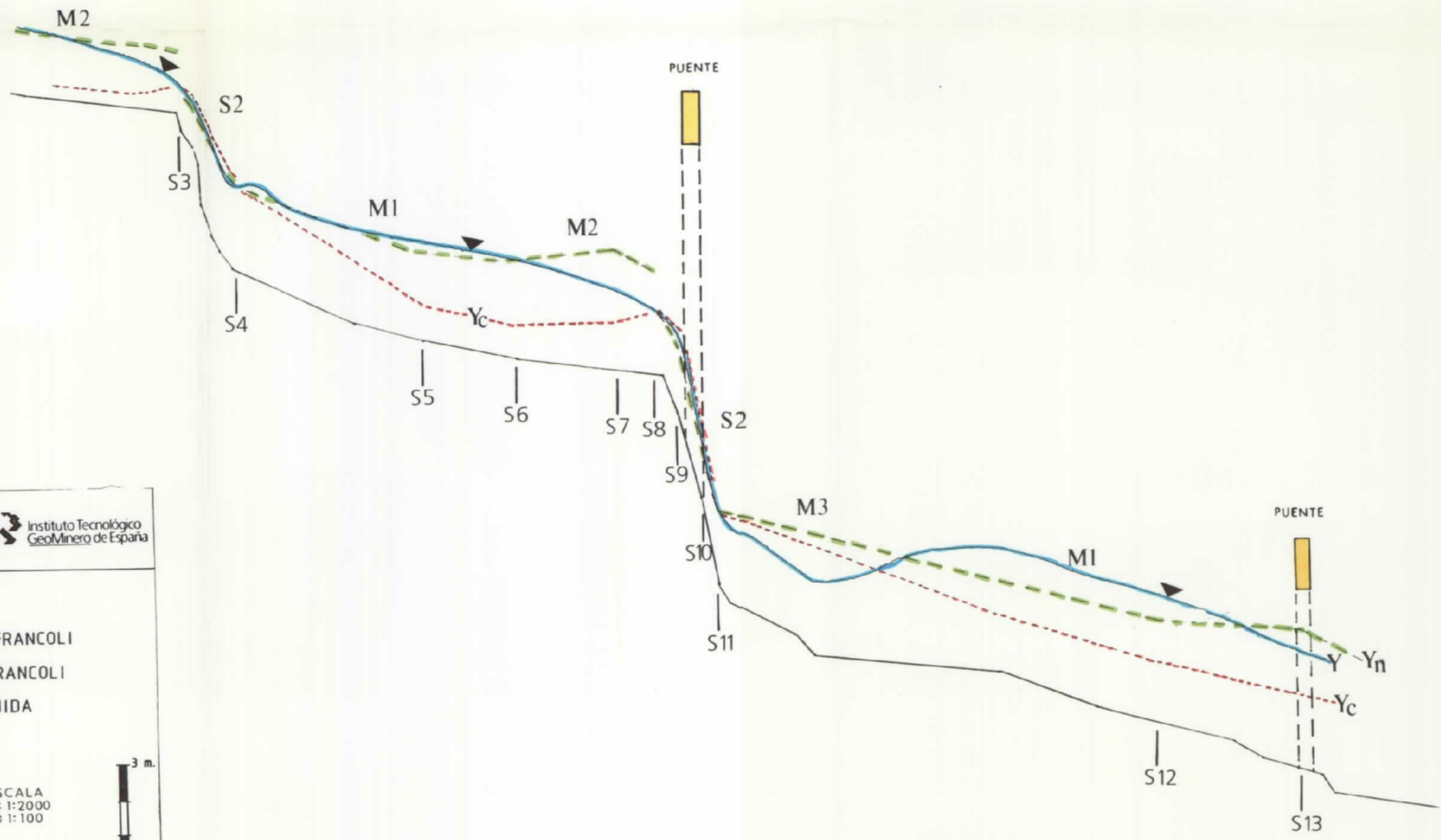
Generalitat de Catalunya  
Departament de Política Territorial i Obres Públiques  
Secretaria General  
Served Geològic de Catalunya

Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

SECCION LONGITUDINAL DEL RIO FRANCOLI  
A SU PASO POR L'ESPLUGA DE FRANCOLI  
ALTURA DE AGUA PARA LAS DIFERENTES  
AVENIDAS CALCULADAS.



Autores: J.Pujadas  
D.Barettino

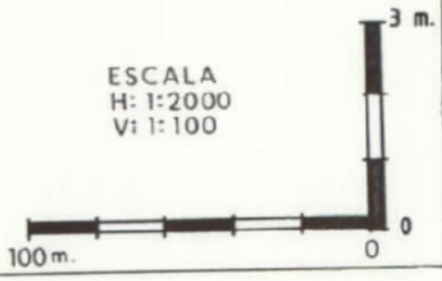


Generalitat de Catalunya  
Departament de Política Territorial i Obres Públiques  
Secretaria General  
Servei Geològic de Catalunya



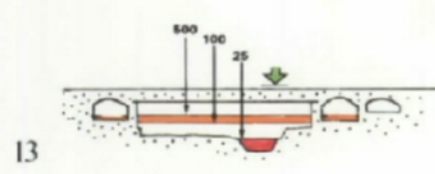
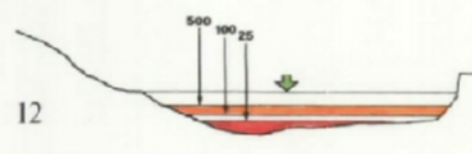
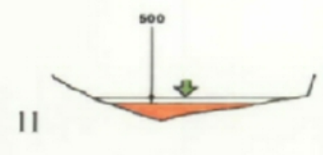
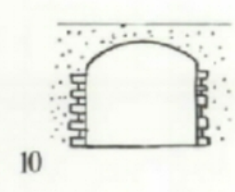
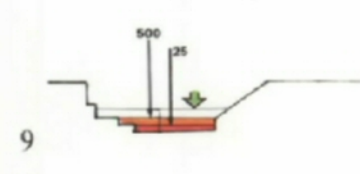
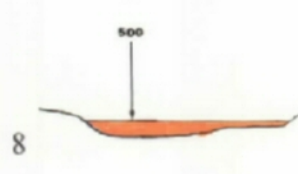
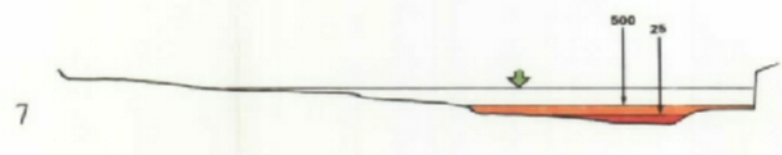
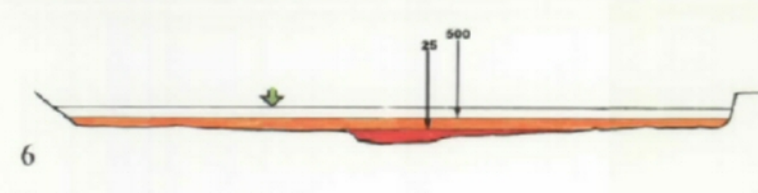
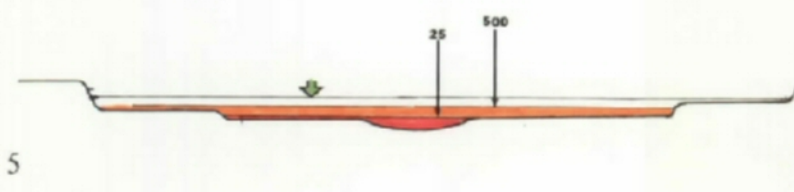
SECCION LONGITUDINAL DEL RIO FRANCOLI  
A SU PASO POR L'ESPLUGA DE FRANCOLI  
ALTURA DE AGUA PARA LA AVENIDA  
DE 500 AÑOS.


ESCALA  
H: 1:2000  
V: 1:100




Autores: J.Pujadas  
D.Barettino



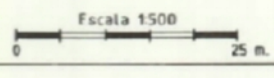




 Generalitat de Catalunya  
 Departament de Política Territorial i Obres Públiques  
 Secretaria General  
 Servei Geològic de Catalunya


 Instituto Tecnológico  
 Geomínico de España

SECCIONES TRANSVERSALES DEL RIO  
 FRANCOLI EN EL SECTOR DE L'ESPLUGA.  
 ALTURA DE AGUA PARA LAS DIFERENTES  
 AVENIDAS CALCULADAS.

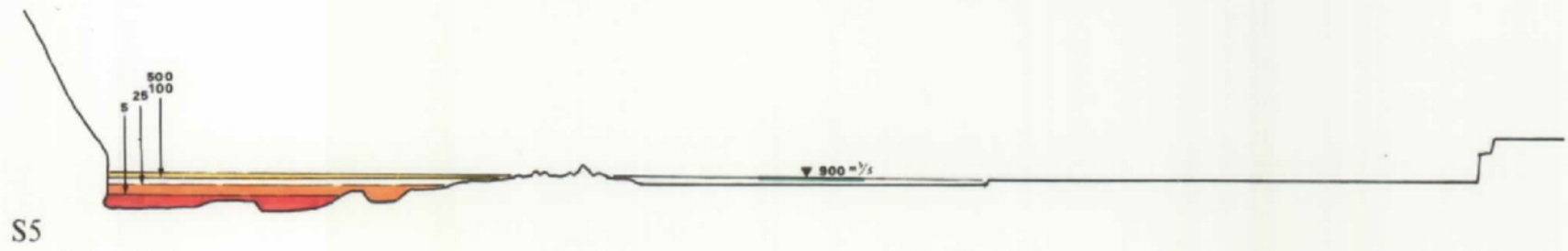
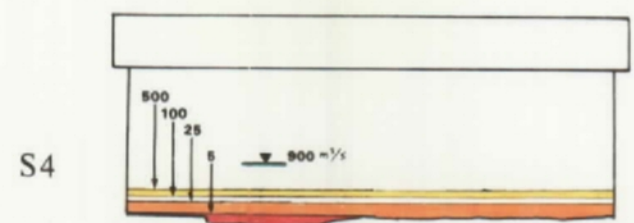
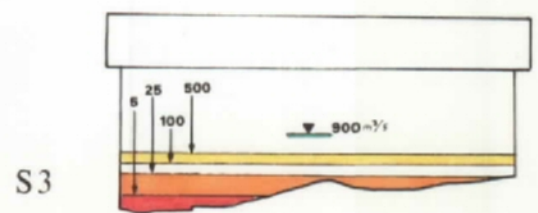
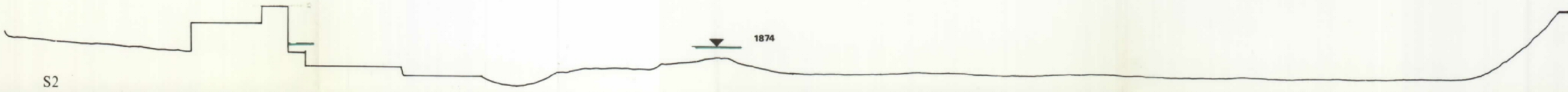
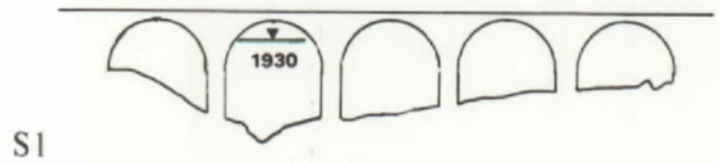
Autores: J.Pujadas  
 D.Barettino




 ALTURA PARA AVENIDA DE 500 m<sup>3</sup>/s

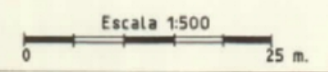
SECCIONES VISTAS DESDE AGUAS ARRIBA





Generalitat de Catalunya  
 Departament de Política Territorial i Obres Públiques  
 Secretaria General  
 Servei Geològic de Catalunya

SECCIONES TRANSVERSALES DEL RIO  
 FRANCOLI EN EL SECTOR DE VILAVERT  
 ALTURA DE AGUA PARA LAS DIFERENTES  
 AVENIDAS CALCULADAS.



Autores: J.Pujadas  
 D.Barettino