

PLANIFICACIÓN DE LA RED FORONÓMICA FUTURA DE LAS ISLAS BALEARES

INFORME

INDICE

MEMORIA

	Pág
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- OBJETIVOS	4
3.- ASPECTOS TEÓRICOS DEL DISEÑO DE REDES	7
3.1 Generalidades	7
3.2 Selección de puntos de la red	9
3.3 Selección de secciones de control	11
3.4 Secciones naturales de aforo	16
3.5 Controles artificiales	19
3.5.1 Generalidades	19
3.5.2 Tipología y proyecto	21
4.- FASES DEL ESTUDIO	24
5.- ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA	26
5.1 Medio Físico	28
5.2 Ámbito socioeconómico	32
5.3 Demandas de agua	33
5.4 Inundaciones y avenidas	34
6.- RED FORONÓMICA ACTUAL	36
6.1 Descripción	36
6.2 Posibilidades de integración en la red futura	42

7.- RED HIDROMÉTRICA FUTURA DE LAS CUENCAS DE LAS ISLAS BALEARES	43
7.1 Descripción de los puntos de control	45
7.2 Valoración económica	54
8.- TIPOLOGÍA DE LAS ESTACIONES DE AFORO	56
8.1 Generalidades	56
8.2 Tipología hidráulica	56
8.2.1 Secciones de control artificial	58
8.2.2 La estación de aforos tipo Crump	59
8.2.3 Principios básicos de diseño	64
8.3 Elementos auxiliares	67
8.3.1 Caseta y muros	67
8.3.2 Elementos hidráulicos	68
8.3.3 Instrumentación	69
9.- ORGANIZACIÓN DE LOS SERVICIOS DE HIDROMETRÍA	70
9.1 Funciones	70
9.2 Medios materiales	72
9.3 Medios humanos	75

ANEJO

PUNTOS DE CONTROL HIDROMETRICO EN LAS ISLAS BALEARES

PLANIFICACIÓN DE LA RED FORONÓMICA FUTURA DE LAS ISLAS BALEARES

INFORME FINAL

MEMORIA

1.- INTRODUCCIÓN

En la presentación definitiva, y con los objetivos de facilitar la lectura, proporcionar una visión de conjunto de la red foronómica que se propone en el futuro para el archipiélago y apoyar al Plan Hidrológico en la justificación de los presupuestos de obras a realizar, se ha realizado un refundido de los estudios "Planificación de la Red Foronómica Futura de la isla de Mallorca" y "Planificación de la Red Foronómica Futura de las islas de Menorca, Ibiza y Formentera" en un único documento.

Mediante el Real Decreto por el que se transfieren las competencias en materia de aguas a la Comunidad Autónoma de las Islas Baleares, el Govern Balear ha asumido competencias y funciones en materia de programación, aprobación, ejecución y explotación de aprovechamientos hidráulicos dentro de su territorio, y de forma concreta en la adecuación, elaboración y desarrollo del Plan Hidrológico.

Hace más de 20 años, la Jefatura de Obras Hidráulicas de Baleares, anterior organismo gestor de los recursos hidráulicos, planificó y ejecutó la actual red de aforos.

En principio, los puntos de ubicación de las estaciones de control -en los principales cursos de agua buscando como objetivo conseguir la máxima información con la mínima cantidad de instalaciones- es correcta, lo cual ha permitido deducir los recursos medios a partir de cálculos hidrológicos realizados sobre los datos disponibles.

Desde su construcción la red no ha sido revisada ni ampliada, y apenas mantenida, lo que unido a las graves deficiencias de diseño de las estaciones, ha traído como consecuencia la pérdida de actualidad, deterioro y reducción de representatividad de los datos obtenidos sobre condiciones de los cauces. En otras palabras, la red ha quedado obsoleta, ya que las estaciones

carecen de las condiciones mínimas que hoy día se exigen para obtener precisión en la medición tanto en caudales bajos como en caudales de avenida.

Cuando se planificó, la red foronómica tenía como objetivos básicos la obtención de series limitadas de caudales para evaluar los recursos medios por procedimientos generalmente manuales (lecturas de escala) o, en casos especiales, mediante limnógrafo. Además, gran parte de las estaciones de aforo de la red fueron concebidas como medio de investigación de la magnitud del drenaje de las principales unidades hidrogeológicas y continuaron la actividad una vez obtenida ésta información.

Estos motivos aconsejan abordar con urgencia el estudio de las posibilidades de rehabilitar la red y/o ampliarla para conseguir una nueva red foronómica que pueda satisfacer con amplitud las necesidades de información hidrológica de las próximas décadas.

El establecimiento de una nueva red se puede abordar desde dos tipologías filosóficamente diferentes, que son las siguientes:

- Red formada por secciones naturales de cauce dotadas de instrumentación muy precisa. El mantenimiento de la integridad y condiciones hidráulicas de las secciones es minucioso, lo que permite mantener controlada la curva de gasto mediante la realización de aforos directos frecuentes, sobre todo tras episodios lluviosos. A cambio de su menor coste, esta red obliga a volcarse en su funcionamiento, con frecuentes visitas y operaciones de mantenimiento.
- Red formada por estaciones dotadas de estructuras hidráulicas, generalmente vertederos hidráulicos. Las estructuras garantizan la estabilidad de la sección transversal y cambios mínimos en la curva de gasto que, en algunas tipologías de estación, puede obtenerse a partir de fórmulas de laboratorio. El mantenimiento de estas estaciones es rutinario, de forma que los aforos directos sirven como comprobación. A cambio son mucho más costosas de construir que las anteriores.

Hay que adelantar que ambos planteamientos son correctos. Por supuesto, una red puede ser mixta, coexistiendo secciones de control que responden a las dos filosofías expuestas.

La red foronómica actual de las islas Baleares no se ciñe a ninguna de las descripciones

anteriores. Las estaciones son en casi todos los casos regularizaciones de secciones naturales, pero su diseño y su falta de mantenimiento no ha permitido controlar las curvas de gasto con éxito. En otras palabras, la red adolece de problemas estructurales que derivan de diseños y ubicaciones incorrectas en la mayoría de las estaciones.

La nueva red foronómica de las islas Baleares trata de solucionar este problema y de proporcionar una densidad de puntos acorde con las necesidades de información.

En principio, la tipología de la nueva red adopta la filosofía de estructuras de control, cuya precisión y garantía es mucho mayor que el de las secciones naturales en un territorio donde los fenómenos de erosión y sedimentación cobran la máxima importancia.

Sin embargo, en ciertos casos la red incluye estaciones de aforo en secciones naturales por cuestiones de economía ó afecciones a terceros.

Finalmente, la futura red foronómica estará preparada para su conexión inmediata a una red de comunicaciones cuyas características están por determinar, y que permitirá enviar los datos recogidos en los sensores de las estaciones de aforo en tiempo real a un centro donde se concentrará la recogida de información y que en el futuro podría facilitar información sobre previsión de inundaciones a Protección Civil o a los servicios que lo requieran.

Cuando se dé este paso adelante, la información podrá recopilarse de forma automática en bases de datos a intervalos de tiempo diezminutales, intervalos adoptados como estándar en otras cuencas españolas. Las bases de datos podrán ser consultadas en tiempo real o elaboradas con información reciente para disponer en todo momento de información hidrológica muy útil para el apoyo a decisiones de gestión.

En lo posible, la red de comunicaciones debería basarse en otra red de ondas de radio (preferiblemente microondas) del propio Govern Balear o bien en los sistemas comerciales de telefonía celular GSM.

Con esta conexión, la red estará en condiciones de entrar a resolver el objetivo último de estos sistemas: la predicción de avenidas para emitir preavisos y alarmas y reducir los daños causados por los fenómenos extremos.

2.- OBJETIVOS

Los trabajos relacionados con la planificación y gestión de los recursos hidráulicos en una región se basan directa ó indirectamente en los registros de caudales obtenidos en estaciones de aforo permanentes.

En el pasado relativamente reciente, el objetivo básico de las redes foronómicas era poco ambicioso, y se reducía a la obtención de series limitadas de caudales para conocer con la máxima precisión alcanzable con pocos medios técnicos y recursos económicos, las características de la escorrentía en los cursos de agua más importantes y deducir a partir de ellas los recursos drenados en régimen lento por las principales unidades hidrogeológicas conectadas con los cauces y en régimen rápido la estimación de la producción hidrológica de las cuencas de los torrentes, lo que permitiría la extrapolación a zonas hidrológicamente afines.

La red foronómica actual de las islas Baleares está formada por secciones de aforo con escala de lectura manual (generalmente una lectura diaria) y unas pocas estaciones dotadas de limnógrafo para registrar los hidrogramas. La red fue heredada del extinto Ministerio de Obras Públicas junto con las transferencias en materia de aguas, y consta de 14 estaciones, 7 de ellas dotadas de limnógrafo y 7 sin limnógrafo, de lectura manual.

Conceptualmente, la red foronómica actual es una red antigua que se basa en secciones naturales de cauce estabilizadas en muchos casos, sin apenas estructuras de control hidráulico. En muchos casos las instalaciones están destruidas u obsoletas.

Como consecuencia de la naturaleza de la red y de los defectos de diseño, las curvas de gasto en las estaciones se muestran erráticas, y cambian en cada avenida de mediana importancia, lo que resta credibilidad a los caudales deducidos de ellas.

Con el paso del tiempo, han aumentado los usuarios con necesidades de información hidrométrica; los escasos datos disponibles son claramente insuficientes y las redes clásicas han quedado obsoletas, incapaces de responder a los interrogantes que se plantean, cada vez más ambiciosos.

En la actualidad y sobre todo en el futuro próximo, las redes foronómicas se diseñan para

cubrir otros objetivos hasta ahora ignorados como son los siguientes:

- ▶ Conocimiento de las aportaciones en las cabeceras, que generan la mayor parte de los recursos hidráulicos y de las avenidas.
- ▶ Las dificultades que se presentan al estimar los caudales de avenida con las sencillas estaciones de aforo de las redes clásicas es una importante limitación a la hora de proponer soluciones realistas al control de avenidas. Las redes actuales de control tienden a emplear estaciones de aforo debidamente preparadas para tal fin como vigilantes en sistemas de alerta semiautomatizados.
- ▶ Finalmente, los avances en comunicaciones están facilitando la construcción de sistemas de control que envían sus datos a través de redes de comunicaciones a puntos centrales donde se reciben las variables adecuadas (precipitación, caudales, calidad de agua) con el objetivo de predecir la evolución de las situaciones potencialmente peligrosas y tomar medidas en caso necesario (sistemas de información para el control de avenidas -por ejemplo sistemas SAIH-, ó para el control de la calidad de agua -por ejemplo, sistema SAICA-).

El objetivo del estudio consiste en analizar minuciosamente las necesidades de información en las islas Baleares con el fin de diseñar una red foronómica moderna capaz de proporcionar los datos precisos que se requerirán en el futuro para controlar los recursos hidráulicos y los caudales de avenida.

La definición de la red se complementa con el estudio de las necesidades de personal para gestionar y mantener la red es estado operativo, con el desglose anual de gastos y la definición de las tareas a realizar. Por otra parte, es necesario definir las características de la instrumentación necesaria (medida y almacenamiento de datos) y el establecimiento de las estaciones de aforo temporales para la obtención de datos durante la construcción de la obra civil.

Una vez definido el conjunto de puntos críticos, se definen las prioridades de cada uno de ellos en relación con las necesidades de adquisición de información, lo cual permitirá

construir la red de forma escalonada y progresiva.

El apartado 3 a continuación describe los aspectos teóricos y recomendaciones que se deben observar en el diseño de redes foronómicas.

3.- ASPECTOS TEÓRICOS DEL DISEÑO DE REDES

3.1 Generalidades

Los aspectos teóricos y recomendaciones a observar en el diseño de redes foronómicas y en el establecimiento de estaciones de aforo quedaron resumidas en el "Manual on Stream Gauging", documento publicado por la Organización Mundial Meteorológica en 1980 y que no ha perdido actualidad. Se resume en éste apartado el contenido de éste documento aunque es patente la no aplicabilidad de algunos de los aspectos que se mencionan en el texto a los torrentes de las islas.

En un hipotético caso general -evidentemente no aplicable directamente al archipiélago-, las actividades humanas utilizan el caudal circulante por los cauces con fines diversos, que se pueden reducir de forma simplificada a:

- Abastecimiento de agua
- Regadíos
- Usos industriales (refrigeración, etc..)
- Dilución de vertidos y transporte de residuos
- Energía hidroeléctrica
- Navegación
- Usos recreativos

Debido a la información que las series temporales de registros de caudal contienen sobre las características estadísticas y las variaciones de las series en el tiempo y espacio, estos datos constituyen el soporte básico para la planificación y desarrollo de aprovechamientos hidráulicos en cursos de agua.

Los registros de caudal se utilizan en la planificación y diseño de proyectos de aprovechamientos así como en la gestión y explotación de los mismos una vez ejecutados.

Por otra parte, cuando se produce un exceso de caudal, se pueden dar situaciones potencialmente peligrosas. En este caso, los registros de caudal obtenidos en las estaciones de aforo son de nuevo la base de cálculo de estructuras ó sistemas ingenieriles como:

- presas y aliviaderos
- puentes
- cubriciones
- tajeas, caños y marcos
- delimitación de zonas inundables
- sistemas automáticos de alerta y prevención de inundaciones

Cuando se habla genéricamente de registros de caudal se da por sobreentendido que se hace referencia a los datos continuos de flujo de agua en estaciones de aforo. Se definen las estaciones de aforo como los emplazamientos fluviales instrumentados y gestionados para la obtención de registros continuos de nivel y caudal.

Las redes de estaciones de aforo se diseñan para satisfacer todas las necesidades de datos de caudal, incluyendo el inventario de los recursos hidráulicos totales. Las redes de estaciones con registros continuos se suelen completar con redes auxiliares de aforos con series parciales que rellenan las lagunas de información a costes inferiores.

De esta forma, una red auxiliar de emplazamientos equipada y operada exclusivamente para dar información sobre caudales máximos instantáneos se utilizaría como base para estudios de frecuencia de avenidas. Sin embargo, una red auxiliar de puntos no instrumentados pensada para medir caudales de estiaje se emplearía en estudios regionales de sequías o de caudales ecológicos.

Una vez localizada la ubicación aproximada de una estación de aforos a partir de consideraciones relativas a la necesidad de datos de caudal, su ubicación concreta se determina teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- aprovechar las condiciones locales (topográficas, hidráulicas, acceso, energía..)
- desarrollar una curva de gasto estable.

El registro continuo de caudales se obtiene instalando instrumentos que captan y registran la cota de agua en el cauce. Las medidas puntuales de caudal (aforos directos) se realizan inicialmente para diferentes alturas para definir la relación alturas-caudales (curva de gasto). Una vez establecida la curva, se realizan medidas a intervalos periódicos, normalmente mensuales, para verificar la curva de gasto vigente o definir cambios en la relación debidos a

modificaciones en la geometría y/o rugosidad del cauce.

En muchos emplazamientos sometidos a remansos por obstáculos aguas abajo, el caudal no se obtiene como función unívoca del nivel de agua, siendo necesario en estos casos registrar continuamente otras variables tales como la pendiente de la lámina de agua -registrando niveles aguas abajo-

En muchos casos se construyen controles artificiales (vertederos de escasa cota ó canales) para estabilizar la curva de gasto en el rango bajo de caudales. Estas estructuras de control se calibran en campo con medidas de caudal y altura de lámina.

Al finalizar el año hidráulico, los datos obtenidos en las redes foronómicas son revisados y analizados por técnicos especializados con objeto de deducir las curvas de gasto aplicables y reducir los registros de altura de agua (limnigramas) a valores medios para diferentes períodos de tiempo. De estos registros se extraen los valores medios y extremos diarios de caudal y se publican en los anuarios de aforo, fin del proceso de análisis de la red foronómica.

3.2 Selección de puntos de la red

La selección de tramos donde conviene ubicar estaciones de aforo está directamente relacionada con las necesidades de gestión de recursos hidráulicos o con características específicas de la red fluvial (configuración de cuencas, confluencias, etc..). Aunque estas necesidades generales determinan básicamente los emplazamientos, el proceso de selección depende de la finalidad que se persiga con el registro de caudal.

Así, por ejemplo, la ubicación de una estación de aforos viene fijada de antemano si los datos de caudal se necesitan para el proyecto de una presa en una cerrada concreta o si los datos se necesitan para la gestión de una determinada obra ya construida.

Sin embargo, si la red a establecer es una red general para el estudio hidrológico de un territorio como el balear de la cual se espera entre otros resultados el inventario de recursos y la definición de planes de desarrollo a largo plazo, es necesario pensar con detalle la estructura de la red para optimizarla.

Una red foronómica óptima debe estar formada por:

- a. Estaciones Básicas, cuyo fin es establecer las características básicas del proceso de escorrentía. Se sitúan en cauces con flujo natural, o en cauces de flujo alterado cuyos registros pueden ser reconstruidos a partir de datos de derivaciones, vertidos, almacenamiento, evaporación, trasvase, etc... Atendiendo a su importancia, se pueden clasificar en:
 - 1 Estaciones primarias ó de operación permanente, que permiten analizar con detalle las tendencias temporales.
 - 2 Estaciones secundarias ó temporales, que sirven de apoyo a las primarias tanto tiempo como sea necesario para establecer las características del flujo
- b. Estaciones Especiales, que sirven para obtener datos concretos en un emplazamiento, por ejemplo para uno de los fines siguientes:
 - 1 Estimación del potencial hidrológico de una cuenca
 - 2 Gestión ú operación de un proyecto existente (por ejemplo una presa ó un abastecimiento). Normalmente se trata de estaciones permanentes
 - 3 Cumplimiento de normas legales (por ejemplo comprobación de caudales de concesión, caudales mínimos ó vertidos). Por lo general, se trata de estaciones permanentes
 - 4 Desarrollo de nuevos proyectos de aprovechamiento hidráulico (por ejemplo proyecto de una presa). Normalmente se trata de estaciones temporales

El diseño de una red foronómica se hace siempre a medida de las peculiaridades regionales y locales. Como mínimo, la red debe incluir una estación principal para cada zona climática y/o fisiográfica, con objeto de permitir en el futuro correlacionar las características del flujo -aportación anual específica (l/s/km²), relación flujo base/flujo total, carácter del cauce,...- con las de las cuencas -climatológicas, topográficas, geológicas...-.

Una red foronómica debe incluir además un cierto número de estaciones especiales.

También es deseable disponer de estaciones de aforo en las ubicaciones más verosímiles para futuros desarrollos de nuevos elementos de regulación, con el fin de preparar con anticipación información suficiente para abordar con garantía los proyectos.

Los tamaños de cuenca a cubrir por la red de estaciones de aforo deben estar de acuerdo con la realidad de las cuencas. Así, en cuencas costeras con cauces no concurrentes, alguna estación debe contemplar el aforo de algún cauce representativo de tales cuencas.

Es importante no despreciar el establecimiento de estaciones de aforo en cuencas con producción hidrológica baja, ya que de una red basada exclusivamente en los cauces con mayor potencial de escorrentía, se podría derivar una falsa realidad de los recursos hidráulicos totales del territorio.

3.3 Selección de secciones de control

Una vez decidido el tramo global donde se debe ubicar la estación de aforo, es necesario escoger un emplazamiento concreto.

Como principio general, una estación debería estar situada en el tramo de cauce comprendido entre dos afluentes importantes pero relativamente alejado de ellos para conseguir que el afluente aguas arriba haya quedado incorporado y homogeneizado en la sección transversal y a la vez suficientemente alejado de la confluencia inferior para evitar efectos de remanso variable en caso de avenida.

Al aplicar las consideraciones anteriores al territorio, se obtiene generalmente un tramo largo, de hasta varios kilómetros de longitud, cuyas particularidades hidráulicas deben ser consideradas para la elección definitiva y detallada del emplazamiento.

El emplazamiento ideal debería cumplir -en caso de resultar posible- los criterios siguientes:

- Tramo recto suficientemente largo y sin obstáculos. Se considera

suficiente un tramo recto de unos 100 m. tanto aguas arriba como aguas abajo. Este criterio buscar anular o al menos reducir la aparición de componentes transversales del flujo que podrían afectar negativamente a la precisión de la medida así como evitar la reducción de la capacidad de desagüe del tramo.

- El flujo total debe quedar confinado a un canal único para todo el rango de caudales. Un corolario es que no debe existir flujo subterráneo bajo la estación.
- El lecho debe ser estable, y no debe estar sometido a procesos de erosión o sedimentación que modifican las curvas de gasto. El lecho debe estar libre de vegetación
- Las márgenes deben ser permanentes, paralelas entre sí y lo suficientemente altas para contener incluso avenidas de bajo período de retorno y desprovistas de vegetación. El tramo de medida debe representar el ancho medio del río en la zona y preferiblemente en una zona estrecha, para reducir las obras a acometer.
- Es conveniente que exista un control hidráulico permanente en forma de afloramiento rocoso o de sobreelevación fija del lecho para caudales mínimos y una contracción del cauce para caudales altos. Alternativamente, el control hidráulico puede ser un salto de agua no sumergido para el rango de caudales a medir
- Desde el punto de vista geotécnico, es deseable que el lecho del río esté próximo a un afloramiento rocoso o a materiales impermeables
- Debe existir una zona de remanso aguas arriba de la sección de aforo para garantizar el depósito de acarreos y el registro de niveles en estiajes extremadamente bajos así como evitar las velocidades altas en las proximidades de la sección de medida.
- El régimen fluvial en el tramo final de aproximación a la sección de aforo

debe funcionar en régimen lento, con número de Froude aproximadamente inferiores a 0,6 con objeto de evitar los problemas de inestabilidad de la lámina de agua que se producen para números de Froude próximos a 1.

- La sección de aforo debe quedar suficientemente alejada de confluencias con otros cauces así como de la zona marítimo-terrestre sometida a mareas.
- Debe existir un tramo adecuado para realizar aforos directos en las proximidades de la estación. En este sentido, no es necesario que los caudales mínimos y los máximos deban ser observados en la misma sección.
- El emplazamiento debe ser fácilmente accesible para facilitar la instalación, mantenimiento y gestión de la estación de aforos. Tanto la caseta e instalaciones de la estación como el acceso deberían quedar fuera del alcance de avenidas relativamente importantes para facilitar
- Las necesidades de la instrumentación moderna aconsejan que el emplazamiento esté próximo a líneas eléctricas comerciales. En caso de no ser posible cumplir este condicionante, se podrían instalar paneles solares fotovoltaicos capaces de alimentar baterías recargables para suministrar las necesidades de energía de los equipos durante un período de tiempo razonable.
- La estación debería ser favorable para la teletransmisión de datos. Teniendo en cuenta que una gran mayoría de las redes foronómicas en tiempo real se basan en sistemas de transmisión por radio, satélite o telefonía celular, el emplazamiento debería tener en su caso visión directa sobre los repetidores o en general salida fácil de las ondas de transmisión. Para cumplir en lo posible este punto, se debe huir si resulta posible de zonas encañonadas.
- Debido al coste económico de los equipos a instalar y de la fiabilidad

que se pide a los registros, el emplazamiento debería estar ubicado en lugares habitados o próximos a ellos para facilitar el control de la accesibilidad y reducir la posibilidad de actos vandálicos.

- En caso de que la estación de aforos controle además datos de calidad de agua - en la actualidad es posible controlar la conductividad, potencial redox, oxígeno disuelto, sólidos en suspensión, amonio y fósforo-, el emplazamiento debe quedar situado aguas abajo de las estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR) o de los puntos de vertido más importantes.

Resulta fácil comprender la extrema dificultad de encontrar un emplazamiento que cumpla todas las condiciones expuestas anteriormente, por lo que es necesario realizar juicios subjetivos ingenieriles y sentido común para elegir entre diferentes emplazamientos alternativos, todos ellos con mayores o menores inconvenientes.

Incluso, en ocasiones pueden existir condiciones negativas en todo el conjunto de ubicaciones disponibles en un tramo y es forzoso seleccionar un emplazamiento pobre (por ejemplo cuando las márgenes fluviales en todo el tramo son bajas e inestables).

El reconocimiento de los emplazamientos comienza en gabinete, examinando mapas topográficos y geológicos y seleccionando inicialmente los tramos con

- alineación recta
- afloramientos rocosos o aluviales de escaso espesor
- márgenes altas
- lejos de remansos producidos por embalsamientos de agua, estructuras o confluencias, incluso en aguas altas
- posibilidades de realizar aforos directos
- acceso fácil

Una vez anotados los lugares favorables, se acude al campo para localizar secciones estables próximas a controles hidráulicos en aguas bajas. Si no es posible localizar secciones con

estas características es necesario analizar la posibilidad de instalar un control hidráulico artificial (por ejemplo un vertedero).

Si es necesario aceptar un emplazamiento en un cauce arenoso, lo mejor es situar la sección en un tramo lo más uniforme posible, alejado de obstrucciones como puentes, que acentúan los fenómenos de erosión/sedimentación.

Es importante analizar los problemas de remanso creados por crecimiento de vegetación así como de flujo subálveo.

También es necesario analizar la disponibilidad de secciones adecuadas para la realización de aforos directos con molinete. La sección de aforo en aguas altas no tiene porqué coincidir con la de aforo de caudales mínimos. Idealmente el lugar donde se realiza el aforo directo debería tener sección transversal uniforme, líneas de corriente paralelas y uniformidad en las velocidades.

Además, para evitar ajustes en los cálculos de caudal debido a cambios en el almacenamiento, la sección de medida debería estar razonablemente próxima a la estación de aforos -con estas consideraciones, hasta 1 km puede ser aceptable si con ello se consiguen buenas secciones de aforo directo y de control-

Con la excepción de los ríos más grandes, los caudales de estiaje se calculan por aforo directo vadeando el cauce. Cuando el vadeo resulta imposible, los aforos se realizan con torno estático o portátil (carretón), desde puente o desde barca. Lo más económico es emplear los puentes existentes, pero en su ausencia o si la sección de medida en los puentes es mala es necesario buscar una sección e instalar un torno. Cuando la anchura del cauce es excesiva el torno no funciona bien y es preferible aforar desde barca.

Al concluir este proceso, se tiene la información suficiente para definir la ubicación de la sección de control continuo y la/s de realización de aforos directos. A continuación es necesario estimar el máximo nivel de agua que puede ser controlado por la estación. La toma de agua del pozo tranquilizador se debe situar aguas arriba de la sección de control a una distancia aproximada de 3 veces la máxima cota a controlar para el nivel máximo antes citado. Si estas tomas se sitúan más próximas al control pueden quedar en una región donde las líneas de flujo se curvan verticalmente, lo que es indeseable desde el punto de vista hidráulico.

3.4 Secciones naturales de aforo

La conversión a caudal de los registros de nivel se realiza mediante una relación entre alturas de agua y caudales que se denomina curva de gasto. El elemento físico que permite establecer esta relación es el control hidráulico.

Al clasificar los controles se comienza distinguiendo entre los controles artificiales (estructuras construidas específicamente para controlar la relación altura-caudal) y los naturales (secciones fluviales no modificadas).

Existe una sección de control cuando la geometría de una sección transversal provoca bien la contracción del cauce ó el cambio brusco de pendiente longitudinal del lecho. La sección de control puede tener su origen en

- Sobreelevación del lecho por afloramiento rocoso
- Sobreelevación del lecho por depósito estable de sedimentos debido a la dinámica del cauce
- Presa o azud existente
- Caída natural brusca de la cota del lecho (cascada)
- Constricción local del ancho del cauce
- Contracción debido a obras (puentes, encauzamientos)

Se dice que existe un tramo de control cuando la geometría y rugosidad de un largo tramo de cauce aguas abajo de la estación de aforos controlan la relación altura-caudal. La longitud del tramo que actúa como control aumenta con el caudal. Puesto de otra forma, al disminuir la pendiente del tramo aumenta la longitud de cauce que actúa como control.

Por lo general, y exceptuando las caídas libres (cascadas, azudes..), no es posible encontrar una estación de aforos con control hidráulico único para todo el rango de caudales. Lo frecuente es que una sección actúe como control para los caudales bajos y que el control se traslade al tramo inferior para caudales altos.

Así pues, cada estación constituye un caso singular, existiendo casos en los que la sección

de aforo ó el tramo inferior pueden controlar en exclusiva la relación altura-caudal para todo el rango de medida mientras que en la mayoría existen dos o más controles que se van turnando en el cometido.

Los dos atributos más importantes asociados a un control hidráulico son

- la estabilidad
- la sensibilidad

La estabilidad del control se traduce inmediatamente en estabilidad de la curva de gasto. En otras palabras, si el control cambia sus características con el tiempo, será necesario actualizar la curva de gasto realizando aforos directos con frecuencia, lo que aumenta los costes de operación de la estación a la vez que disminuye la precisión del registro de caudales.

La causa básica del cambio de condiciones en controles naturales es el aumento de la velocidad del agua en avenidas. De los controles naturales, los afloramientos rocosos no son afectados por esta causa, pero sí los materiales aluviales depositados por la propia dinámica fluvial. Los controles de cauce son inestables cuando el lecho y las márgenes lo son.

Otra causa de cambio es el crecimiento de vegetación en el lecho, que provoca el aumento de los niveles de agua para el mismo caudal, particularmente en aguas bajas. De la misma forma, el crecimiento de vegetación en las márgenes reduce la velocidad y el área eficaz de flujo y afecta a la curva de gasto. Temporalmente, la acumulación de hojas en otoño también puede provocar cambios en la curva de gasto.

Por otra parte, los controles deben ser sensibles, particularmente en aguas bajas. La sensibilidad se define como la rapidez y extensión de la respuesta fluvial en forma de incremento de altura a pequeños cambios en el caudal circulante. Se supone que un control en aguas bajas es estable cuando un cambio del 2% en el caudal viene representado por un cambio de una unidad de medida en nivel (que se suele considerar 3 mm).

La sensibilidad depende del caudal de medida. Se suele tomar como caudal de comparación el del percentil 95% (caudal igualado o superado el 95% del tiempo). Así se suele hablar de sensibilidad como el aumento de altura en mm. que resulta de un aumento en el caudal del 1% sobre el del percentil 95.

Para satisfacer este requisito es necesario que el ancho de flujo quede muy restringido para caudales bajos. En un control natural, tal condición se da si el control tiene una abertura o si la sección tiene forma triangular o parabólica. Estas formas de la sección garantizan que el ancho del flujo sobre el control decrece al decrecer el caudal.

Para abaratar la estructura, una estación de aforos debería estar situada aguas arriba de un control natural adecuado. Cuando es imposible obtener las condiciones de estabilidad y sensibilidad con los controles naturales, se hace imprescindible crear una sección artificial de control, ya que no es lógico desde el punto de vista económico estabilizar un tramo de cauce -encauzar- exclusivamente para estabilizar la curva de gasto.

3.5 Controles artificiales

3.5.1 Generalidades

Un control artificial es una estructura construida en un cauce para permitir que, al estabilizar y constriñir el canal en una sección, se facilite la obtención de registros de caudal con gran precisión. Por lo general, los controles artificiales en ríos son vertederos de pared gruesa que se adaptan a la forma general y altura del lecho.

En canales es más sencillo aforar con otro tipo de estructuras tales como los vertederos en pared delgada ó canales de aforo. En ríos este tipo de vertedero únicamente se puede emplear en zonas libres de transporte de sedimentos cuyas márgenes son suficientemente altas como para contener los aumentos de lámina generados por la estructura.

Los canales de aforo (ejemplo, los de tipo Parshall) se basan en la contracción de la lámina de agua y se reservan para cauces con problemas de sedimentación. Además, como apenas generan sobreelevación son ideales para cauces con márgenes bajas. Como contrapartida, son mucho más caros de construir que los vertederos.

Los controles artificiales eliminan o alivian muchos de los problemas asociados con las secciones naturales de control. Por una parte son estables y por otra evitan los problemas de crecimiento de vegetación. Las algas que se desarrollan en las estructuras son fáciles de eliminar.

El control artificial se puede proyectar con el objetivo de alcanzar el grado de sensibilidad deseado.

En canales, donde los rangos de caudal están limitados, se construyen los controles artificiales para controlar el rango de niveles completo. En el caso de ríos, resulta normalmente imposible construir un control con la altura necesaria para evitar la sumergencia en caudales altos, ya que la eficacia de los vertederos de pared gruesa se limita a los caudales bajos e intermedios.

En un control artificial, es deseable que se cumplan los siguientes condicionantes:

- El control debe ser permanente y estable estructuralmente. Se debe comprobar la posibilidad de que el flujo bajo y alrededor de la estructura sea importante, y se deben tomar las precauciones necesarias para su prevención mediante tablestacado, muros pantalla o estructuras similares
- El labio del vertedero debería ser tan alto como fuera posible para reducir -e incluso eliminar- los efectos de condiciones de remanso variable impuestas por secciones aguas abajo.
- El perfil del labio debe ser diseñado de forma que pequeños cambios en el caudal de estiaje se manifiesten en incrementos significativos del nivel (sensibilidad). Si se pretende que la eficacia del control se extienda a los caudales altos, se debe diseñar un perfil que de lugar a una curva de gasto que permita extrapolar a caudales punta sin errores importantes.
- La forma de la estructura de control debe ser tal que el paso del agua no cree perturbaciones aguas arriba o abajo de la sección de medida
- Si el transporte de sedimentos en el cauce es significativo, se debe diseñar un control autolimpiante. Los canales de aforo tienen esta característica, mientras que los vertederos de pared gruesa se pueden proyectar como autolimpiantes con un diseño en el cual la cara aguas arriba tenga una pendiente suave hacia el entronque con el lecho.

En ocasiones, los controles artificiales se construyen habitualmente para conformar las dimensiones de vertederos calibrados en laboratorio o campo. La decisión que hay que tomar al construir una estructura de este tipo consiste en saber si se desea recalibrar la estructura ya construida mediante aforos directos o si se utiliza la curva de gasto precalibrada y se comprueba con cierta frecuencia su veracidad, sobre todo en caudales bajos. En cualquier caso, es crítico que la nivelación (puesta a cero) del labio sea precisa.

3.5.2 Tipología y proyecto

Por lo general, el coste económico es el factor principal que permite decidir la necesidad de construir un control artificial para sustituir a un control natural de inferiores cualidades de registro.

El coste de la estructura de control es muy sensible al ancho del cauce y a las características del lecho y de las márgenes. El ancho del cauce determina el tamaño de la estructura, mientras que las características del lecho y márgenes determinan el tipo de estructura a construir para minimizar la filtración.

Una vez decidida la construcción de un control artificial, el tipo y forma de la estructura a proyectar dependen de las características del cauce, del régimen de flujo, del rango de caudales a aforar y del remanso permisible (afecciones aguas arriba).

Las características del cauce y el régimen de flujo controlan la elección de tipo de estructura. Los vertederos y canales de aforo estándar no son apropiados para números de Froude mayores de 0.5. Estas estructuras funcionan mejor cuando el nivel de agua es muy parecido a la línea de energía, lo que suele fallar en cauces con mucha pendiente y por lo tanto altura de velocidad $v^2/2g$ importante.

Además, en cauces con gran pendiente, los vertederos hacen las veces de trampas de sedimento. En cauces con problemas de transporte sólido, un aforo por contracción es mejor solución que un vertedero, aunque incluso en este caso puede haber dificultades para hacer pasar los tamaños más gruesos de la curva granulométrica.

Para determinar el tipo de estructura que mejor se adapta a un cauce, su forma y las cotas de proyecto es necesario sopesar simultáneamente la importancia de los tres factores básicos (rango de caudales a medir, sensibilidad y máxima sobreelevación permisible).

En primer lugar, se deben recopilar las curvas de gasto teóricas para las estructuras tipo probadas en laboratorio y campo. Estas curvas son solo aproximadas, por lo que más adelante será necesario comprobarlas.

A continuación, se determina una curva de gasto aproximada para el rango previsible de niveles de agua en el cauce natural y en la sección elegida. Esto se puede llevar a cabo empleando una relación hidráulica (por ejemplo Manning) supuesto válido el régimen uniforme y realizando previamente una hipótesis de rugosidad.

La validez de la curva de gasto calculada con éste procedimiento se debe comprobar y mejorar con el apoyo de unos pocos aforos directos, que deben servir para calibrar la rugosidad empleada en los cálculos. El objetivo de éste cálculo consiste en obtener niveles de agua para el rango completo de caudales que sirvan para comparar el estado actual del cauce con el estado futuro del mismo, es decir, con la estación de aforos proyectada.

El siguiente paso consiste en considerar los caudales mínimos a aforar. Los niveles del estado actual para esos caudales se emplean para determinar las cotas mínimas permisibles para el labio de la estructura de control. Si el ancho del cauce es tal que un vertedero con el labio recto no resulta sensible a los caudales bajos, es recomendable acudir a perfiles triangulares tipo Crump con pendiente transversal 1:20 por ejemplo. La sensibilidad óptima será normalmente aquella en la que el caudal no aumente más del 2-5% para cada incremento de nivel de 0.3 mm. También es deseable que la forma del labio del vertedero permita medir el caudal mínimo con una lámina de agua de al menos 6 cm.

Finalmente, se calculan las curvas de gasto para diversos tipos de vertedero y el rango de caudales a registrar y se selecciona la estructura que mejor se conforma a los condicionantes locales, actuando como control hidráulico para un rango de caudales lo mayor posible sin superar la afección máxima establecida aguas arriba para los caudales máximos y con sumergencia mínima en los caudales bajos. En otras palabras, un vertedero con el labio a cota muy alta minimiza la sumergencia pero aumenta la afección aguas arriba y viceversa. El proyectista debe decidir cual es la solución óptima en cada caso concreto.

Ya se recordó anteriormente que los vertederos y canales de medida estándar no son apropiados para pendientes fuertes. Siendo cierta esta aseveración, debe quedar claro que si se requiere aforar con precisión cauces con mucha pendiente y problemas de transporte sólido cuyos lechos inestables modifican muy a menudo la curva de gasto, es necesario estabilizar ésta construyendo vertederos o canales de medida específicos.

Esto se consigue dando al fondo de la estructura una pendiente supercrítica para

prevenir el depósito de sedimentos. Las tomas del pozo tranquilizador -cuestión crítica en el proyecto de estas estaciones- se colocan en la zona de régimen supercrítico de la estructura. Debido a la inestabilidad de la lámina de agua en régimen supercrítico, es necesario ensayar la solución adoptada (situación y forma de las tomas) en laboratorio.

Por lo general, el coste de una estructura de control de este tipo es prohibitiva para aforos rutinarios.

4.- FASES DEL ESTUDIO

El estudio de la futura red foronómica de las islas Baleares se ha dividido en las siguientes fases:

- Estudio de las necesidades de información hidrológica.
- Selección de tramos de cauce
- Análisis de validez de la actual red foronómica
- Diseño de la futura red foronómica.
- Definición de características de las estaciones de aforo
- Organización operativa y gestión de la red

En primer lugar se aborda el estudio de las necesidades de información hidrológica, que permite decidir los tramos de cauce más adecuados al establecimiento de puntos de control permanente de caudal.

El análisis se ha realizado siguiendo las directrices que se exponen en el apartado anterior con el apoyo de un Sistema de Información Geográfica (GIS). Esta herramienta permite almacenar la información disponible en bases de datos cuyos elementos están dotados de referencias geográficas. La interrogación a las bases de datos (por ejemplo con lenguaje estándar SQL) permite visualizar los resultados obtenidos y cuantificar.

Los datos básicos que se han manejado para determinar las necesidades de información hidrológica son los siguientes:

- Morfología de la red fluvial
- Cuencas hidrográficas
- Estaciones de aforo existentes
- Zonas potencialmente vulnerables a inundaciones

El objetivo de la fase de análisis de información es deducir los puntos donde se necesita captar información hidrológica para satisfacer cada una de las necesidades concretas de datos de caudal para las que se construye la red.

El estudio continúa buscando los tramos de cauce donde sería necesario establecer una sección de control para satisfacer las demandas deducidas de la fase anterior.

A continuación el estudio analiza la validez de las estaciones que componen la red foronómica actual para satisfacer, al menos parcialmente los objetivos de los puntos de aforo que es necesario ubicar en los diferentes tramos. De este análisis se desprende la necesidad de abandonar, mejorar o trasladar algunos de los puntos que forman parte de la red actual con el objetivo de integrarlos en la futura red.

Inmediatamente después, el estudio presenta los puntos de la red foronómica futura, distinguiendo los formados por estaciones de la red actual y los que corresponden a estaciones de aforo cuyos proyectos de construcción han concluido.

Los puntos que componen la futura red se resumen por islas y prioridad, relacionada con la urgencia de la información y el coste de establecimiento, lo que permitirá abordar la construcción de la red de forma progresiva.

A continuación se detallan líneas generales sobre la tipología de las estaciones de aforo de la red, sin entrar en detalles que deben ser objeto de los proyectos constructivos. El estudio se define las características de la instrumentación necesaria en cada estación (medida y almacenamiento de datos)

La definición de la red se complementa con el estudio de las necesidades de personal para gestionar y mantener la red en estado operativo.

5.- ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

En éste apartado se analizan las necesidades básicas de información foronómica en las cuencas de las islas Baleares como paso previo a la definición de los puntos de control que las satisfacen.

Si se parte de una red foronómica de densidad de puntos escasa, es evidente que la puesta en funcionamiento de cada estación de aforo añade importantes conocimientos sobre el funcionamiento de las cuencas hidrográficas. La experiencia que se logra, es fundamental para la planificación, proyecto ó gestión de cualquier tipo de obra relacionada con los cauces, y no puede ser sustituida por ningún otro tipo de medida -incluida la pluviométrica-.

A medida que la red crece, se plantea la cuestión sobre el número óptimo y el número límite de estaciones de aforo que la deben componer.

La respuesta parece clara, ya que cuantas más estaciones tenga la red, mayor será el conocimiento hidrológico de la región. Sin embargo, el conocimiento marginal que las últimas estaciones de aforo añaden al conocimiento hidrológico es cada vez menor. Si las necesidades de información hidrológica han sido satisfechas, no es razonable aumentar la densidad de la red, más si se tienen en cuenta los relativamente importantes costes de construcción y mantenimiento de cada estación de aforos de nueva creación.

En conclusión, el objetivo del diseño de una red de aforos coherente consiste en minimizar el número de puntos de medida maximizando a la vez la rentabilidad de cada punto (área asociada a la información). Para ello es necesario buscar los puntos críticos de la red fluvial, que concentran las necesidades de información hidrológica. Con el tiempo, estas necesidades pueden ir cambiando y aconsejar la introducción de puntos adicionales a la red.

Los puntos críticos que se buscan al diseñar la red foronómica de las islas se pueden resumir en:

- Tramos de cauce sometidos a frecuentes problemas de inundación ó avenida cuyos daños podrían reducirse mediante preaviso.
- Puntos críticos del drenaje de acuíferos (mejora de la gestión)

Para encontrar éstos puntos hay que tener en cuenta:

- la diversidad de características fisiográficas y climáticas
- la estructura de la red fluvial, y en particular
 - la densidad y forma de la red de drenaje
 - la situación geográfica de los acuíferos y fuentes de agua
 - la localización de los tramos sometidos a riesgo de avenidas
- el apoyo que se puede prestar a otras redes (climatológica, calidad, energética)

A esta lista cabría añadir los puntos donde ya se dispone de una estación foronómica. En estos -y con independencia de su correcta ubicación-, se dispone en principio de series históricas de caudal que quedarían interrumpidas. Los estudios hidrológicos necesitan series de gran longitud, por lo que la pérdida sería irreparable.

Finalmente, para evitar la discriminación de unas zonas con respecto a otras, la colección de puntos críticos debe incluir cauces que aparentemente tienen menor importancia, pero que consiguen proporcionar disponibilidad de datos en prácticamente cualquier zona del archipiélago.

5.1 Medio Físico

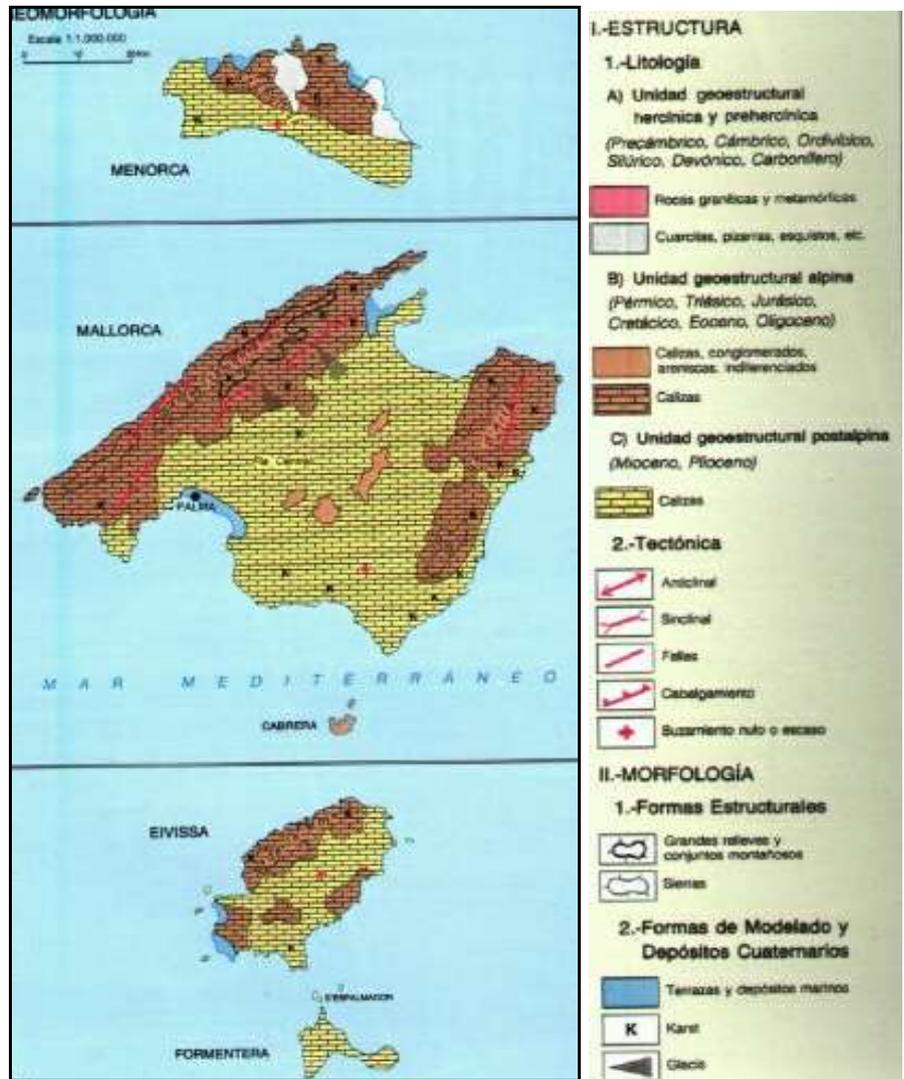
Geografía y geología

El Archipiélago Balear está formado por cuatro islas mayores (Mallorca, Menorca, Ibiza y Formentera) y un conjunto adicional de islas menores e islotes, cubriendo en conjunto un territorio de 5,014 km².

La figura adjunta resume a grandes rasgos la geomorfología del archipiélago.

La superficie de la isla de Mallorca es de 3,626 km² y una longitud de costa de 461 km. En la isla se pueden distinguir tres zonas fisiográficas:

- Sierra de Tramontana, en el sector NO de la isla, que ocupa 1,100 km², con topog



Geomorfología de las islas Baleares. Tomado del Atlas de España. El País-Aguilar, 1993

grafía abrupta y cotas superiores a más de 1,400 m, de difícil acceso y escasa población (unos 67 habs/km²). Los materiales de la Sierra son calizos con numerosas formaciones cársticas. La mayor parte de la escorrentía superficial de la isla tiene su origen en ésta zona.

- Sierra de Levante. Ocupa una superficie de 720 km² recorriendo la costa SE. Las cotas máximas apenas superan los 500 m. La densidad de población es de 80 habs/km². Geológicamente está compuesta por materiales de las mismas épocas que los de la S. de Tramontana.
- Llanos Centrales, con una superficie de 1,860 km², con topografía suave, cotas máximas en torno a 150 m y densamente poblada (unos 230 habs/km²). Geológicamente predominan los materiales neógenos.

La superficie de la isla de Menorca es de 701 km². En la isla se pueden distinguir dos zonas fisiográficas:

- Zona Septentrional, formada por materiales paleozoicos y mesozoicos vindobonienses con relieves suaves que alcanzan una altura máxima de 350 m.
- Migjorn o costa meridional, muy accidentada como resultado del sistema de fracturas en los materiales terciarios

La isla de Ibiza, de 541 km² de extensión, presenta relieves moderados que alcanzan los 475 m. Geológicamente es compleja, con materiales similares a los de las sierras de Levante en Mallorca. Dentro de los relieves se pueden observar llanuras aluviales, áreas deprimidas, poljes, etc..

Por fin, la isla de Formentera, de 82 km² de extensión es la más meridional. Está formada por dos bloques terciarios unidos por un tómbolo de dunas cuaternarias. Alcanza los 192 m. de altura

Climatología

El clima en las islas Baleares viene determinado por su posición en el Mediterráneo, aunque influencias debidas a su posición y al relieve determinan un aumento de la aridez desde el N al S. La precipitación es la principal causa de la aridez. La precipitación media anual en la isla de Mallorca es de 630 mm en el año medio (pudiendo llegar a 435 y 780 mm en años secos y húmedos respectivamente). En la sierra de Tramontana en Mallorca, las precipitaciones pueden llegar a 1300 mm anuales mientras que en Formentera son de 383 mm.

La figura adjunta muestra la distribución de la precipitación anual en las islas.

El viento del N, canalizado desde el valle del Ródano en Francia condiciona el clima de las zonas N de las islas Mallorca y Menorca. A cambio, las islas del S (Ibiza y Formentera) reciben la influencia del aire tropical continental del Sahara, lo que reduce extraordinariamente las lluvias

La distribución de las lluvias es muy estacional. El 40% de las lluvias se concentra en otoño, el 30% en invierno, el 20% en primavera y el restante 10% en verano.

La evapotranspiración real oscila entre 488 mm en Maó (ETP de 860 mm) a 383 en Formentera (ETP de 888 mm).



Isohietas medias anuales. Tomado del Atlas Nacional de España. El País-Aguilar, 1993

Hidrología

El comportamiento hidrológico de las islas es torrencial. Únicamente unos pocos torrentes que nacen en las sierras más lluviosas llevan agua con cierta regularidad en la época de lluvias. Los demás sólo lo hacen excepcionalmente, cuando los alimentan las lluvias.

Los principales cursos de agua se encuentran en Mallorca y desembocan a la Bahía de Palma y sobre todo a las Bahías de Pollença y Alcúdia. De éstos, el Torrent de Sant Miquel es el más importante.

Las aguas subterráneas en las islas tienen gran importancia debido a la existencia de grandes formaciones capaces de regular los recursos infiltrados.

5.2 Ámbito socioeconómico

Ámbito demográfico

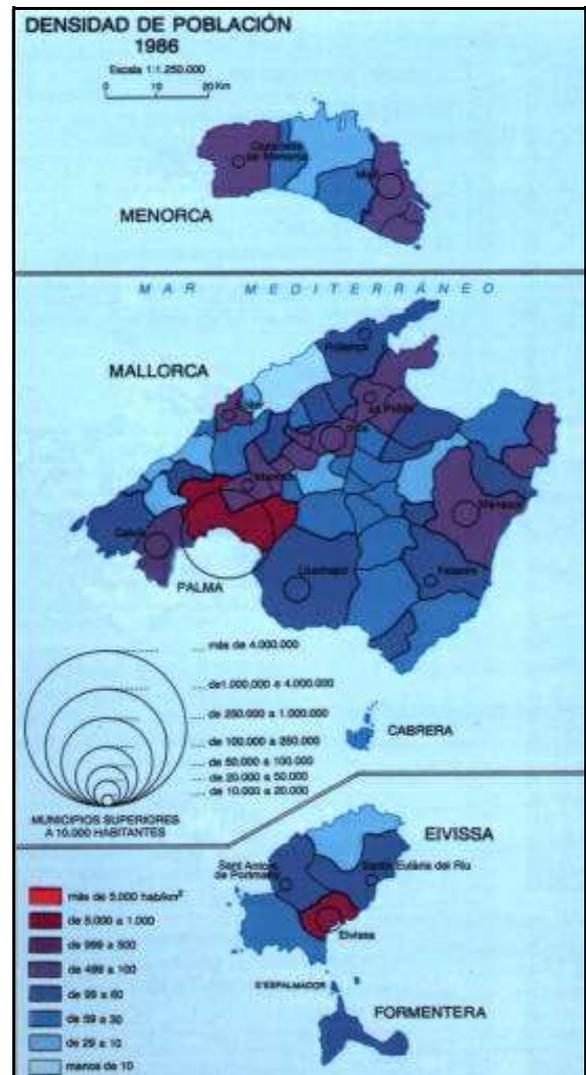
La población se concentra principalmente en núcleos urbanos, y fundamentalmente en las capitales de las islas. Así, Palma reúne el 53% de la población de Mallorca, Maó y Ciutadella el 67% de Menorca y Eivissa el 39% de la isla del mismo nombre, donde la población rural tiene más importancia que en otras islas.

La figura adjunta ilustra la densidad de población en las islas.

La corriente de inmigración que surge bien como consecuencia de los servicios relacionados con el turismo ó bien la residencia de personas retiradas básicamente extranjeras tiene una gran importancia para la estructura de la población.

Marco económico

Hasta 1960, las actividades agrarias eran la base de la economía isleña a pesar del desarrollo industrial de Mallorca y Menorca. A partir de éste momento, el turismo pasa a ser la principal actividad, perdiendo peso el sector agrícola a costa de un trasvase de la mano de obra y estructura de salarios. En la actualidad, el sector agrario apenas supone algo más del 1% del PIB de la Comunidad.



Densidad de población en las islas Baleares. Tomado del Atlas El País-Aguilar, 1993

El sector industrial supone aproximadamente el 18% del PIB del sector secundario. La

parte más importante de éste sector es la construcción, que supone el 43% del sector. Además tienen su importancia ciertas industrias tradicionales como las de calzados, piel ó bebidas. Los principales centros industriales se concentran en Palma, Inca, Lluçmajor, Manacor y Felanitx en Mallorca, Maó, Alaior y Ciutadella en Menorca y Eivissa en la isla del mismo nombre.

El turismo es hoy día la base de la economía balear con un número de turistas próximos a los récords mundiales. La capacidad de alojamiento, superior a las 400,000 plazas y los servicios asociados al turismo (transporte, golf, puertos deportivos..) han logrado que el turismo proporcione hasta el 80% del PIB total.

5.3 Demandas de agua

El 95% de los recursos de agua que se aprovechan en la isla son subterráneos extraídos por más de 15,000 pozos.

La estructura de las demandas de agua en las islas sigue unos patrones similares a los de la población, de forma que la demanda se concentran fundamentalmente en las zonas urbanas y turísticas.

Teniendo en cuenta la disposición de las unidades hidrogeológicas, las demandas se satisfacen generalmente con recursos subterráneos extraídos en pozos locales. Únicamente en casos muy concretos como el de Palma es necesario acudir a recursos de otras zonas para satisfacer las demandas.

La demanda agrícola apenas tiene importancia en relación con las demandas urbanas si se exceptúa la zona agrícola de los Llanos Centrales de Mallorca.

5.4 Inundaciones y avenidas

Una red foronómica adecuada puede prevenir contra los riesgos de inundación. En cuencas de respuesta relativamente lenta, con tiempos de concentración importantes las estaciones de aforo permiten hacer un seguimiento detallado del hidrograma en tiempo real y realizar predicciones.

En cuencas cortas, es imprescindible contar con información pluviométrica en tiempo real. En estos casos, las estaciones de aforo permitirían calibrar y por lo tanto mejorar las predicciones sobre niveles máximos de avenida realizadas en base a las lluvias. La integración del control de las lluvias con la red foronómica y la predicción de caudales por simulación se plantea en éste estudio como una importante posibilidad que marcará el futuro de la red.

El estudio de "Identificación de las Zonas Potencialmente Vulnerables a Riesgos de Inundación en las Islas Baleares", desarrollado en 1997 por la Junta d'Aigües delimitó las áreas sometidas a riesgos de inundación y avenida. De acuerdo con los resultados de éste estudio, los tramos de cauce sometidos a éste riesgo son los siguientes:

LISTADO DE TRAMOS DE TORRENTE SOMETIDOS A RIESGOS DE INUNDACION

Número	Torrente	Prioridad
MALLORCA		
1	Sa Riera	Máxima
2	Sant Magí	Media
3	Na Bárbara (Palma)	Máxima
4	Torrent Gros	Máxima
5	Coa Negra	Máxima
6	Cas Ciutada (S'Arenal)	Máxima
7	Son Veri (S'Arenal)	Máxima
8	Sant Jordi	Media
9	Campos	Media
10	Cala Santanyi	Media
11	D'en Boqueras	Media
12	Ses Talaioles	Mínima
13	Es Riuet	Máxima
14	Cala Mendia 1	Mínima
15	Cala Mendia 2	Mínima
16	Sant Llorenç 2	Máxima
17	Sant Llorenç 1	Máxima
18	Manacor 1	Máxima
19	Manacor 2	Máxima
20	Sa Font des Molins	Mínima
21	Cocons	Media
22	Torretes	Media
23	Sant Miquel	Máxima
24	Sant Jordi 1	Media
25	Sant Jordi	Media
26	Mayor de Sóller	Media
27	Torrent de Bunyola	Media
28	Andratx	Mínima
29	Gore	Media
30	Son Vic	Máxima
MENORCA		
31	Cala Santa Galdana	Mínima
32	Maó	Mínima
EIVISSA / FORMENTERA		
33	Llavanera	Máxima
34	Es Buscatell	Media

Esta información se ha utilizado para el diseño de la futura red foronómica.

6.- RED FORONÓMICA ACTUAL

6.1 Descripción

La red actual de estaciones de aforo de las islas Baleares es claramente insuficiente para cubrir las necesidades de información actuales y por supuesto futuras. La red actual fue puesta en operación hace más de 20 años por la Jefatura de Obras Hidráulicas de Baleares fundamentalmente en los principales torrentes.

El anejo a ésta memoria incluye unas fichas con las características de las estaciones de aforo y una fotografía. Todas las estaciones se encuentran en la situadas en la isla de Mallorca, no existiendo punto de control alguno en otras islas.

La relación de estaciones que integran la red foronómica actual de las islas Baleares su instrumentación y su estado de funcionamiento es la siguiente:

PUNTOS DE CONTROL EN LA RED FORONOMICA DE LAS ISLAS BALEARES

Código	Curso de agua	Lugar	Limnigraf	Funciona
B001	Torrent Gros	Palma de Mallorca	N	S
B002	Torrent Sa Riera	Puigpunyent	S	S
B003	Torrent Gros	Palma de Mallorca	S	S
B004	Torrent Sant Miquel	Campanet	S	S
B005	Torrent Na Borges	Manacor	N	N
B006	Torrent Aumedrá	Alaró	S	S
B007	Torrent Coa Negra	Bunyola	S	S
B008	Torrent Sollerich	Alaró	S	S
B009	Torrent Cuber	Escorca	N	N
B010	Torrent Gorg-Blau	Escorca	N	N
B011	Torrent L'Ofre	Sóller (Escorca)	S	S
B012	Torrent Coma Freda	Campanet	S	S
B013	Torrent Canyamel	Capdepera	S	S
B014	Torrent Aumedrá	Muro	N	N
B015	Son Sitges (S'Almadraba)	Pollença	N	S
B016	Torrent Major	Sóller	S	S
B017	Torrent Sant Miquel	Sa Pobla	N	N
B017	Torrent Ses Planes	Sant Llorenç des C.	N	N

Código	Curso de agua	Lugar	Limnigraf	Funciona
B051	Torrent Sant Jordi	Pollença	N	S
B052	Torrent Ternellas	Pollença	N	S
B053	Font de Sa Costera	Escorca	N	N
B054	Torrent Fornalutx	Sóller	N	S
B055	Torrent Biniaraix	Sóller	N	S
B056	Font S'Olla	Sóller	N	S
B057	Font Lladronera	Sóller	N	S
B058	Torrent Coa Negra	Marratxi	N	S
B060	Torrent Na Borges	Manacor	N	N
B061	Torrent Molinet	Artá	N	S
B062	Torrent Millac (Recó)	Artá	N	S
B063	Torrent Canyamel	Capdepera	N	N
B064	Torrent Na Borges	Manacor	N	S
B065	Binicaubell (Son Guillot)	Artá	N	S
B066	T. Son Real (MontBlanch)	Maria de la Salut	N	S
B067	Torrent Son Real	Santa Margalida	N	S
B068	T. Son Bauló (Dragonera)	Santa Margalida	N	S
B069	Torrent Son Bauló	Santa Margalida	N	S
B070	Torrent Coma Freda	Campanet	N	S
B071	Puentes Albufera	Muro	N	N
B072	Tubos Albufera	Muro	N	N
B073	L'Ull de Sa Font	Pollença	N	S
B074	Torrent Massanella	Selva	N	S
B075	Torrent Lluch	Lluch	N	N
B076	Torrent Aubarca	Lluch	N	N

Al final de éste apartado se incluye un mapa con la situación de las estaciones de aforo de la red actual

Desde la transferencia de competencias en materia de aguas al Govern Balear la red es gestionada por la Junta d'Aigües que trata en la actualidad de reponer las instalaciones al nivel de las necesidades.

Las características negativas de la actual red foronómica quedan resumidas en el cuadro siguiente:

PROBLEMAS OBSERVADOS EN LA ACTUAL RED FORONOMICA

Característica	Consecuencia práctica
Diseño de estaciones inadecuado	Datos poco fiables
Escasa densidad de puntos de medida, y únicamente en una isla	Información hidrológica insuficiente
Inestabilidad de las curvas de gasto	Datos poco fiables en general
Ubicación incorrecta de estaciones	Falta de precisión
Falta de infraestructuras para la realización de aforos directos (tornos y pasarelas)	Caudales de avenida poco fiables, obtenidos por extrapolación
Ausencia de limnógrafos en gran parte de la red	Falta absoluta de precisión de los datos
Ausencia de estructuras de control	Poca precisión en la medida
Degradación de estructuras con el paso del tiempo	Necesidad de reformas y mantenimiento

De no construir una nueva red, las acciones a emprender de inmediato sobre las estaciones actuales consistirían en:

ACCIONES BASICAS A TOMAR SOBRE LA RED FORONOMICA ACTUAL

Código y torrente	Acción básicas a emprender
1 Torrent Gros	Estabilizar sección y colocar limnógrafo
2 Torrent Sa Riera	Remodelar. Caseta y vertedero nuevo
3 Torrent Gros	Limpiar, nueva caseta y estructura
4 Torrent San Miguel	Sección de control para Q bajos. Emplazamiento correcto
5 Torrent Na Borges	Reconstruir. Emplazamiento interesante
6 Torrent Aumedrá	Estación importante. Necesita nueva sección de control y caseta

Código y torrente		Acción básicas a emprender
7	Torrent Coa Negra	Aunque en cabecera, esta estación es interesante. Remodelar sección de control
8	Torrent Sollerich	Remodelar sección de control. Estación válida
11	Torrent L'Ofre	Dejar como está. Teletransmisión
12	Torrent Coma Freda	Establecer sección de control para Q bajos. Reforma caseta. Emplazamiento correcto
13	Torrent Canyamel	Interesante. Mejorar sección de control Q bajos
15	Torrent Sitges (L'Almadraba)	Mejorar sección de control. Limnógrafo
16	Torrent Major	Mejorar medida caudales pequeños
17	Torrent S. Miquel	Desmantelar. No sirve para medir
18	Torrent de Ses Planes	Estación muy importante. Falta estructura de control y limnógrafo
51	Torrent Sant Jordi	Establecer sección de control. Limnógrafo
52	Torrent Ternelles	Dejar, si se desea, para una red secundaria
54	Torrent Fornalutx	Instalar limnógrafo. Mejorar medida caudales bajos
55	Torrent Biniaraix	Instalar limnógrafo. Mejorar medida caudales bajos
56	Fuente S'Olla	Dejar como está. Limnógrafo
57	Fuente Lladroner	Dejar como está. Limnógrafo
58	Torrent Coa Negra	Sustituir por una estación aguas arriba.
61	Torrent Molinet	Sobra. La 13 controla perfectamente su cuenca
62	Torrent Millac (Recó)	Sobra. La 13 controla perfectamente su cuenca
64	Torrent Na Borges	Estación interesante. Necesita sección de control para Q bajos
65	Torrent Binicaubell (Son Guillot)	No merece la pena seguir con la estación si se mejora la de desembocadura
66	Torrent Son Real (Mont Blanch)	No merece la pena continuar con esta estación
67	Torrent Son Real	Medida interesante. Establecer sección de control. Limnógrafo
68	Torrent Son Bauló (Dragonera)	Estación inútil. Eliminar

Código y torrente		Acción básicas a emprender
69	Torrent Son Bauló	Cambiar de emplazamiento hacia a. abajo. Mejor establecer bajo puente. Mejorar medida Q bajos y limnígrafo
70	Torrent Coma Freda	Limnígrafo. Mejorar aguas bajas
73	Torrent L'Ull de sa Font	No merecer la pena para la red de aforos futura
74	Torrent Massanella	Conservar. Introducir sección de control y limnígrafo
75	Torrent Lluc	Renovar instalaciones. Conservar emplazamiento
76	Torrent Aubarca	Renovar instalaciones. Conservar emplazamiento

6.2 Posibilidades de integración en la red futura

La situación de las estaciones de la actual red foronómica es por una parte correcta, ya que cubre los torrentes más importantes de la isla de Mallorca. Sin embargo, junto a éstas, coexisten estaciones pensadas básicamente para la investigación de los recursos subterráneos. Por otra parte, las características y objetivos de las instalaciones hacen inviable la integración directa de las estaciones actuales en la red futura.

No obstante, con modificaciones importantes, la mayoría de las estaciones se podrían incorporar al conjunto que se describe en el apartado 7. La ventaja fundamental de integrar estaciones antiguas en la red nueva radica en la posibilidad de conservar -a pesar de su escasa calidad- las series temporales que tantos años cuesta lograr, que son imposibles de sustituir por otras informaciones y que forman el patrimonio hidrológico básico para el proyecto de obras.

Como criterio de integración, se ha tratado de salvar y actualizar con criterio común al conjunto de la red, aquellas estaciones cuya información es importante y cuyo emplazamiento es adecuado.

Gran parte de la red actual carece de infraestructura propia, entendiendo como tal a los vertederos hidráulicos, casetas, muros y equipamiento relacionado con el registro de niveles.

A continuación, se pasa revista, una por una a las instalaciones existentes, dejando para cada una de ellas un criterio sobre sus posibilidades de inclusión en la red y se pasa a definir la red foronómica futura que se propone para las islas Baleares.

7.- RED HIDROMÉTRICA FUTURA DE LAS CUENCAS DE LAS ISLAS BALEARES

Para definir la red foronómica futura de las cuencas de las islas Baleares se ha partido de los datos básicos descritos en los capítulos anteriores.

La metodología aplicada a la selección de tramos que albergarán una estación de aforos consiste en analizar los elementos que generan demanda de información. Una vez reunidos todos los cauces en una única relación es posible priorizar y finalmente decidir las ubicaciones de las futuras estaciones de aforo

Por otra parte, se ha aplicado el criterio de homogeneidad para que el conjunto de estaciones represente la hidrología de las islas. Con éste criterio se ha dotado de estaciones de aforo a ciertos cauces que en la actualidad están desprovistos de infraestructuras y más concretamente a las islas menores. De esta forma, cuando en el futuro se precise realizar estimaciones en cualquier punto de las islas Baleares siempre se dispondrá de una estación de aforos más o menos próxima.

Finalmente, se acudió a la información cartográfica y a las visitas de campo para concretar los tramos que compondrán la futura red de observación.

Del análisis detallado de los datos así como de las conclusiones de las visitas de campo, se ha llegado a la configuración de red foronómica futura que se desarrolla en el apartado 7.1, compuesta por 34 estaciones de aforo, prácticamente todas de nueva construcción (mapas de la figura 6).

La red cumple los objetivos propuestos de obtener la información más importante en relación con los problemas de suministro de agua y avenidas y proporciona una cobertura relativamente uniforme al territorio de las islas Baleares, lo que permitirá en el futuro mejorar los parámetros de diseño de obras hidráulicas

La red foronómica actual queda parcialmente absorbida en la futura, lo que es lógico teniendo en cuenta la importancia de los cauces que se registran en la actualidad. Se han dado prioridades a las estaciones de la red propuesta, lo que permitirá dar prioridad a aquellas cuya información es más relevante en el conjunto.

Las estaciones están preparadas para facilitar su incorporación futura a un sistema integrado de transmisión de datos en tiempo real que permitirá conocer las variables registradas en el instante en que se producen, y tomar decisiones en base a ellas encaminadas fundamentalmente hacia la reducción de daños por avenida y los avisos a la población.

Para llegar a éste objetivo final será necesario incorporar al sistema datos externos relativos a la pluviometría en tiempo real. A partir de éste momento será posible calibrar modelos matemáticos del proceso precipitación-escorrentía y predecir caudales con anticipación.

A continuación se describen los puntos de control que constituyen la red para pasar a continuación a la valoración económica.

7.1 Descripción de los puntos de control

Este apartado describe los puntos que integran la futura red foronómica de las islas Baleares. A lo largo del informe ya se ha comentado que el nivel de definición de la red corresponde al horizonte de planificación. Esto quiere decir que la descripción de los puntos de control de la red no siempre se traduce en un emplazamiento concreto, sino más bien en un tramo de cauce que satisface las necesidades de información que sustentan el propio diseño de la red y en el cual se ha comprobado que existen puntos adecuados para la medida.

La definición exacta de la ubicación corresponde a la fase de proyecto, en la que se deben considerar factores adicionales de detalle que no se han tenido en cuenta en la fase de planificación tales como disponibilidad de terrenos, posibilidad de expropiación facilidad del acceso ó acometida a líneas de energía.

El listado de los puntos de aforo propuestos y los mapas de las figuras 5 y 6 detallan su ubicación en las diferentes zonas analizadas (ver apartado 7.2), el sistema de explotación y la cuenca según se definen en el Plan Hidrológico de las islas Baleares.

Cada estación va identificada con un número de orden y con un código, que facilita la identificación de cada estación y puede ser adoptado para ello. El código, que se muestra en los mapas, consta en la primera definición de 3 caracteres alfanuméricos son la abreviatura del nombre del cauce.

En las estaciones existentes, el número de orden coincide con el oficial. Las estaciones de nueva construcción llevan un nuevo número de orden.

Para estimar el coste económico de las estaciones, el listado incluye además una valoración subjetiva que tiene en cuenta el tamaño de las instalaciones y el grado de remodelación, de acuerdo a los códigos siguientes:

CODIGOS EMPLEADOS PARA LA CARACTERIZACION DE OBRAS A REALIZAR

Tipo de estación
SN Sección natural estabilizada
CG Modelo Crump grande
CM Modelo Crump intermedia
CP Modelo Crump pequeña
CL Modelo Crump muy pequeña
P Tipo Parshall
O Otro tipo

Tipo de obra a realizar
N Estación de nueva construcción
RG Remodelación importante de estación existente
RM Remodelación intermedia
RP Remodelación pequeña

Finalmente se ha asociado a cada estación una prioridad subjetiva de ejecución (alta, media o baja) lo que permitirá abordar por etapas la construcción de la red.

Los mapas que siguen a ésta página muestran la ubicación aproximada de los puntos de la futura red foronómica. Cuando los puntos coinciden con estaciones de aforo de la red actual la ubicación queda perfectamente definida, pero no así en estaciones de nueva creación en las que el proyecto deberá definir la ubicación más conveniente en el tramo señalado.

RED FORONÓMICA DE LAS ISLAS BALEARES. ESTACIONES DE LA PRIMERA FASE

CODIGO	NUMERO	RIO	LUGAR	TIPO EST	TIPO OBRA
MALLORCA					
GR1	1	Torrent Gros	Palma	CG	N
SAR	2	Torrent Sa Riera	Puigpunyet	CM	N
GR2	3	Torrent Gros	Palma	CG	N
CFR	12	Torrent Coma Freda	Campanet	CM	RP
CNY	13	Torrent Canyamel	Capdepera	CM	RP
ALM	15	Torrent Sitges (L'Almadraba)	Pollença	P	RG
MAJ	16	Torrent Major	Soller	CG	RP
SPL	18	Torrent de Ses Planes	Sant Llorenç des Cardassar	CG	RP
OLL	56	Torrent Fuente S'Olla	Soller	CL	N
LLA	57	Torrent Lladroner	Soller	CL	N
NB2	64	Torrent Na Borges	Manacor	CM	RM
SM2	83	Torrent San Miguel	Sa Pobla	CG	N
MUR	84	Torrent de Muro	Muro	CG	N

CODIGO	NUMERO	RIO	LUGAR	TIPO EST	TIPO OBRA
MENORCA					
CSG	87	Barranc de Cala Galdana	Cala Santa Galdana	O	N
IBIZA					
EUL	88	Río de Santa Eularia	Santa Eularia	CM	N

Códigos empleados:

Tipo de estación
 SN Sección natural estabilizada
 CG Modelo Crump grande
 CM Modelo Crump intermedia
 CP Modelo Crump pequeña
 CL Modelo Crump muy pequeña
 P Tipo Parshall
 O Otro tipo

Tipo de obra a realizar
 N Estación de nueva construcción
 RG Remodelación de estación existente importante
 RM Remodelación intermedia
 RP Remodelación pequeña

RED FORONÓMICA DE LAS ISLAS BALEARES. ESTACIONES DE LA SEGUNDA FASE

CODIGO	NUMERO	RIO	LUGAR	TIPO EST	TIPO OBRA
MALLORCA					
SM1	4	Torrent San Miguel	Campanet	CM	RP
NB1	5	Torrent Na Borges	Manacor	CP	N
SJR	51	Torrent Sant Jordi	Pollença	SN	N
FOR	54	Torrent Fornalutx	Soller	SN	N
MAS	74	Torrent Massanella	Selva	CP	N
SOL	80	Torrent Sollerich	Consell	CM	N
AUM	81	Torrent Aumedrà	Lloseta	CM	N
COA	82	Torrent Coa Negra	Santa Maria del Camí	CM	N
MENORCA					
ALB	86	Torrent des Puntarró	S'Albufera	CP	N
MER	89	Torrent de Mercadal	Lluriac	CM	RP
IBIZA					
BUS	91	Torrent Buscatell	Sant Antony de Portmany	CP	N

Códigos empleados:

Tipo de estación
 SN Sección natural estabilizada
 CG Modelo Crump grande
 CM Modelo Crump intermedia
 CP Modelo Crump pequeña
 CL Modelo Crump muy pequeña
 P Tipo Parshall
 O Otro tipo

Tipo de obra a realizar
 N Estación de nueva construcción
 RG Remodelación de estación existente importante
 RM Remodelación intermedia
 RP Remodelación pequeña

RED FORONÓMICA DE LAS ISLAS BALEARES. ESTACIONES DE LA TERCERA FASE

CODIGO	NUMERO	RIO	LUGAR	TIPO EST	TIPO OBRA
MALLORCA					
OFR	11	Torrent L'Ofre	Soller (Escorca)	CP	N
BIN	55	Torrent Biniaraix	Soller	SN	N
SRE	67	Torrent Son Real	Santa Margalida	CM	N
SBA	69	Torrent Son Bauló	Santa Margalida	CM	N
AUB	76	Torrent Aubarca	Lluch	CP	N
SXR	85	Torrent Son Xorc	Son Xorc	CP	N
MENORCA					
CEP	88	Barranc de Cala en Porter	Santa Ponça	CM	N
IBIZA					
LLV	92	Torrent Llavenera	Eivissa	CP	N

Códigos empleados:

Tipo de estación
 SN Sección natural estabilizada
 CG Modelo Crump grande
 CM Modelo Crump intermedia
 CP Modelo Crump pequeña
 CL Modelo Crump muy pequeña
 P Tipo Parshall
 O Otro tipo

Tipo de obra a realizar

N Estación de nueva construcción
 RG Remodelación de estación existente importante
 RM Remodelación intermedia
 RP Remodelación pequeña

7.2 Valoración económica

Para valorar de forma aproximada el coste de la infraestructura y equipamiento de la red foronómica propuesta, se han utilizado unos precios unitarios estándar, que se han aplicado a cada una de las estaciones en función de su tipo.

Lógicamente, con éste criterio de uniformización que no tienen en cuenta factores importantes como la anchura de los diferentes cauces ó la necesidad de construir accesos, los precios suponen una primera aproximación aceptable para la planificación, que habrá de ser concretada en la fase de proyecto.

De todas formas, los precios son suficientemente aproximados como para que las desviaciones no sean importantes.

Los precios unitarios de las diferentes partidas (precios de ejecución por contrata) serían:

PRECIOS UNITARIOS PARA CALCULO DEL PRESUPUESTO DE RED FORONOMICA

1. Encauzamiento y movimientos de tierra:	
1.1 Estación grande	12 M Pts
1.2 Estación intermedia	10 M Pts
1.3 Estación pequeña	8 M Pts
1.4 Estación muy pequeña	3 M Pts
2. Azud y vertedero	
2.1 Estación Crump grande	8 M Pts
2.2 Estación Crump intermedia	5 M Pts
2.3 Estación Crump pequeña	4 M Pts
2.4 Estación Crump muy pequeña	2 M Pts
2.5 Estación Parshall	4 M Pts
3. Regularización de sección natural (perfilado, solera)	8 M Pts
4. Caseta, urbanización y pozo tranquilizador	
4.1 Con bypass	10 M Pts
4.2 Sin by-pass	6 M Pts
5. Instrumentación para caudal	
5.1 completa, incluyendo torno y data-logger	5 M Pts
5.2 simple	3 M Pts

Con éstos precios se han compuesto los precios unitarios para cada estación tipo, y resultan ser los siguientes:

COSTE ECONÓMICO UNITARIO POR TIPO DE ESTACIÓN
(ejecución por contrata, en M Pts)

Tipo y descripción		Coste
CG-N	Nueva estación de aforos con perfil Crump grande (1.1+2.1+4.1+5.1)	35
CM-N	Nueva estación de aforos con perfil Crump intermedio (1.2+2.2+4.1+5.1)	30
CP-N	Nueva estación de aforos con perfil Crump pequeño (1.3+2.3+4.2+5.2)	21
CL-N	Nueva estación de aforos con perfil Crump muy pequeño	14
CG-RP	Remodelación pequeña para obtener Crump en estación grande existente	22
CM-RP	Remodelación pequeña para obtener Crump en estación intermedia existente	20
CM-RM	Remodelación intermedia para obtener Crump en estación intermedia	24
CG-RP	Remodelación a Crump de estación grande existente	22
P-RG	Remodelación grande para obtener Parshall en estación existente	20
SN-N	Sección natural de aforo (3 + 4.2 + 5.1)	19
O	Adaptación de azud para obtener estación de aforos	18

VALORACIÓN ECONÓMICA APROXIMADA DE LA RED FORONÓMICA DE LAS ISLAS BALEARES ORDENADA POR ISLAS Y FASES (en M. Pts., ejecución por contrata)

	FASE			Red completa
	1ª	2ª	3ª	
MALLORCA	326	190	142	658
MENORCA	18	41	30	89
IBIZA	30	21	21	72
ISLAS BALEARES	374	252	193	819

Con éstas hipótesis, el coste de la red foronómica completa asciende a 819 millones de pesetas, coste que puede ser diferido en el tiempo abordando en primer lugar la red de alta prioridad y continuando en el futuro con la integración de las estaciones de menor prioridad.

8.- TIPOLOGÍA DE LAS ESTACIONES DE AFORO

8.1 Generalidades

En este apartado se describe la tipología propuesta para las estaciones de aforo de la red. Se entiende como tipología el conjunto de elementos que componen la estación y que son los siguientes:

- Tipología hidráulica y estructuras de control
- Caseta y muros
- Elementos hidráulicos
- Instrumentación

8.2 Tipología hidráulica

Un control artificial de caudal (estación de aforo) es una estructura hidráulica que permite estimar con precisión los caudales que circulan por un río a partir de observaciones de la altura que alcanza la lámina de agua en cada instante.

La estructura hidráulica ideal que permite alcanzar este fin busca provocar un cambio en el régimen hidráulico para conseguir el calado crítico en una sección conocida y en un rango amplio de caudales que en principio abarca desde el caudal de estiaje a los de las máximas avenidas previsibles.

La altura alcanzada por el agua en estas condiciones no es afectada por sobreelevaciones debidas a obstáculos, por lo que se traduce unívocamente en el caudal circulante aplicando la propiedad de energía específica mínima en la sección crítica.

La realidad impide en muchos casos alcanzar esta situación ideal, lo cual obliga a proyectar las estaciones de aforo en secciones que trabajan en régimen de sumergencia prácticamente en todo el rango de caudales.

Entre las dificultades prácticas que impiden crear estas condiciones en un cauce natural, cabe destacar las siguientes:

- ⇒ La importancia del rango de caudales a medir. No se diseña de la misma forma una estación para observar caudales de estiaje que otra para caudales de avenida. En la práctica es casi imposible encontrar una estructura capaz de medir el rango completo de caudales

- ⇒ La pérdida de energía asociada a los necesarios cambios de régimen hidráulico es a veces incompatible con la pendiente natural de los cauces, reduce la capacidad de los mismos y generalmente provoca inundación de otros tramos fluviales.
- ⇒ Para mejorar la calidad de la medición y minimizar los trabajos de mantenimiento de la estación se necesita una sección natural estable sin problemas de modificación de las características hidráulicas por procesos de sedimentación y que responda a curvas de gasto estables.
- ⇒ La observación de los caudales que desbordan el cauce ordinario y por tanto la estructura e inundan la vega de avenidas por este procedimiento es imposible.

Como consecuencia de las anteriores observaciones, resulta impracticable definir estructuras de control hidráulico en cauces anchos, sobre todo si además son de pequeña pendiente.

No se puede dar una cifra precisa de los valores límite que provocan ésta situación, pero sí la magnitud aproximada, en torno a los 50 m. A partir de valores próximos a éste las estructuras capaces de provocar el cambio de régimen mediante vertedero resultan muy grandes y por lo tanto costosas. Además, provocan sobreelevaciones de la lámina de agua que en muchos casos son inadmisibles.

En éstos casos, las estaciones de aforo se construyen directamente sobre las secciones naturales con ó sin regularización de cauce. La regularización del cauce puede consistir en la excavación y mejora de la sección transversal y del tramo inmediato ó en la instalación de una solera de hormigón dotada si se desea de un canal sensible o un pequeño vertedero central para observación con precisión los caudales de estiaje.

En ambos casos debe quedar garantizada la estabilidad de la sección y por lo tanto de la curva de gasto. Los detalles sobre este tipo de estaciones quedó resumido en el apartado 3

Desde el punto de vista tipológico, la nueva red foronómica de las islas Baleares estará formada por estaciones con vertedero tipo Crump en los cauces que se presten a ésta posibilidad -que se describe en detalle en el apartado siguiente junto con los vertederos en general- y por secciones regularizadas en las secciones anchas o de escasa pendiente.

8.2.1 Secciones de control artificial

Para lograr una estructura hidráulica que cumpla los condicionantes del apartado anterior y cuyas condiciones hidráulicas (curva de gasto) se puedan conocer a priori, se han llevado a la práctica diversos diseños extrapolados a partir de los vertederos de los laboratorios hidráulicos cuyas leyes de comportamiento son bien conocidas (por ejemplo vertederos triangulares o rectangulares)¹.

Una solución simple viene dada por los vertederos bidimensionales que presentan las ventajas de facilidad de construcción y sencillez de operación pero no se adaptan bien a emplazamientos donde se necesita medir un amplio rango de caudales.

En efecto, para medir caudales altos se necesita un labio de gran anchura que al reducir la altura de lámina vertiente minimiza las afecciones a otros tramos fluviales. Sin embargo, para registrar caudales de estiaje se necesita un labio de ancho pequeño que al elevar la lámina aumente la sensibilidad de la medición. Los dos criterios anteriores son claramente incompatibles. Para superar el problema se han ensayado diversas tipologías en laboratorio.

Una de las soluciones de compromiso más simples consiste en disponer de dos secciones de medida, una que en aguas bajas comprime el caudal en una sección reducida denominada canal sensible y otra que alberga los caudales que superan la capacidad del canal sensible en aguas altas en una sección mucho más ancha situada a mayor cota.

Los problemas básicos de este diseño derivan de la necesidad de construir pilas de separación entre ambas secciones si se desea calibrar correctamente la estación así como de la falta de sensibilidad en la medición de pequeños niveles en la sección superior. Las pilas son antiestéticas, favorecen el depósito de flotantes y encarecen la estructura. Además, si el diseño no incluye muros de división entre ambas secciones, el flujo en la zona de unión adquiere carácter tridimensional que obliga a calibrar individualmente cada estructura.

Otra solución para reducir la afección en aguas altas consiste en operar la estructura en régimen sumergido, lo que desde el punto de vista teórico es posible realizando la medición con dos limnógrafos que al registrar los niveles aguas arriba y aguas abajo dan las condiciones de sumergencia aunque complicando enormemente la operatividad del proceso de medida y probablemente perdiendo precisión.

¹ El apartado se centra en algunas de las tipologías de estaciones de aforo que mejor se adaptan para la medición de rangos amplios de caudales, ignorando muchos otros diseños que también se basan en principios hidráulicos parecidos (por ejemplo estaciones de aforo Parshall)

8.2.2 La estación de aforos tipo Crump

La estación de aforos de doble vertedero triangular² se desarrolló como solución alternativa a los problemas anteriores debido a sus propiedades de proporcionar sensibilidad a la medida en caudales bajos sin necesidad de pilas y minimizar la afección en aguas altas. La estructura permite además la medición cuando queda sumergida en caudales por encima de su límite teórico de observación.

El comportamiento de un vertedero triangular doble se basa en dos hipótesis de partida:

- El flujo sobre el vertedero es unidireccional, y las líneas de corriente son ortogonales al labio³
- El coeficiente de descarga es constante para todo el ancho del vertedero y tiene el mismo valor numérico que en un vertedero bidimensional con pendientes aguas arriba y abajo

Aceptando estas hipótesis, el caudal que atraviesa la estructura se puede calcular integrando a lo largo del ancho de la sección. Suponiendo que cuando la altura del agua desborda el vertedero triangular existen muros verticales que confinan el cauce⁴, se obtienen las siguientes relaciones:

$$Q = \frac{4}{5} C_{de} \sqrt{gn} H^{5/2} \quad H \leq P_v$$

$$Q = \frac{4}{5} C_{de} \sqrt{gn} H^{5/2} \left[1 - \left(1 - \frac{P_v}{H} \right)^{5/2} \right] \quad H > P_v$$

donde:

$$H = h_1 + \alpha \left(\frac{v_1}{2g} \right)^2 - k_h$$

H = Energía total sobre el labio del vertedero

h₁ = Altura de la lámina de agua en el punto de toma del pozo tranquilizador

² El apartado se refiere a las estaciones de aforo con pendiente transversal pequeña en el vertedero triangular (menor que 1:10 aproximadamente)

³ Esta hipótesis no se cumple estrictamente ya que las líneas de corriente convergen hacia el vértice del vertedero triangular. Cuando la pendiente transversal del labio es inferior a 1:10 el efecto de convergencia es despreciable

⁴ El procedimiento de diseño contiene las correcciones necesarias para instalar la estructura en canales trapezoidales en caso necesario.

v_1 =	Velocidad media del agua en el punto de toma del pozo tranquilizador
α =	Coefficiente de distribución transversal de la velocidad
k_n =	Factor de corrección de la energía total (entre 0.0004 y 0.0008 m)
P_v =	Altura del vértice inferior del vertedero triangular
C_{de} =	Coefficiente de descarga modular (entre 0.615 y 0.660)
n =	Número de Manning

Para dejar perfectamente definido un doble vertedero triangular, es necesario especificar los siguientes parámetros:

- ⇒ Ancho de la sección de aforo B
- ⇒ Altura del vertedero
- ⇒ Cota mínima del vertedero P_v
- ⇒ Pendiente transversal del labio del vertedero
- ⇒ Pendientes longitudinales del vertedero
- ⇒ Longitud y altura del encauzamiento de la sección de aforo
- ⇒ Localización de la toma del pozo de tranquilización

Para estandarizar la tipología de este tipo de estructuras, el laboratorio hidráulico de Wallingford en Inglaterra ha realizado numerosos ensayos en modelo reducido comprobando los efectos de los parámetros de diseño sobre el caudal derivando expresiones empíricas que a continuación se han verificado en estructuras reales.

Debido a las numerosas posibilidades de los parámetros de diseño, los ensayos se han limitado por el momento a vertederos con parámetros razonables en cauces reales (vertederos triangulares de pendientes transversales 1:10 y 1:20 con pendientes longitudinales 1:2/1:2 y 1:2/1:5).

En todos los casos, la medida de niveles se realizó a una distancia del labio del vertedero igual a 10 veces P_v que se ha comprobado que es un valor suficiente para que el descenso diferencial de la lámina en toda la anchura del cauce se pueda considerar despreciable y la energía registrada en el pozo de tranquilización corresponda aproximadamente a la energía total.

Los parámetros antes enunciados definen el comportamiento hidráulico futuro de la estación de aforos. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor es la altura del vertedero sobre el cauce, -a igualdad de los restantes parámetros-, mayor es también el caudal máximo que la estación puede medir con precisión a partir de una medida limnigráfica (condiciones de flujo modular).

Como contrapartida, al aumentar la altura del vertedero, también lo hace la afección que la estación crea aguas arriba, y las dificultades de los peces para remontar la sección. Además aumenta el volumen de la obra civil a realizar para contener los caudales dentro de los límites de la estructura.

En resumen, para seleccionar la altura y pendiente transversal del vertedero, se deben tener en cuenta la necesidad de medir caudales elevados, la afección que la estación produce aguas arriba, la altura disponible para los muros de encauzamiento de la estación de aforos y la necesidad de dejar un paso para peces.

Las secciones transversales más cerradas (con vertedero triangular de pendiente transversal 1:10) mejoran la precisión de las medidas, pero obligan a elevar el labio para evitar los problemas asociados a la sumergencia y como consecuencia aumentan la afección aguas arriba aunque como contrapartida son capaces de registrar un rango más amplio de caudales.

Las secciones más tendidas (talud transversal 1:20), son ligeramente menos precisas para la medición de caudales de estiaje, pero permiten disponer el labio a menor cota, y disminuyen la afección a costa de reducir el rango de caudales que se puede medir con precisión.

Una vez seleccionados estos parámetros, es sencillo calcular las cotas de la línea de energía que corresponden a cada caudal, así como el máximo caudal que se puede medir en condiciones de flujo modular.

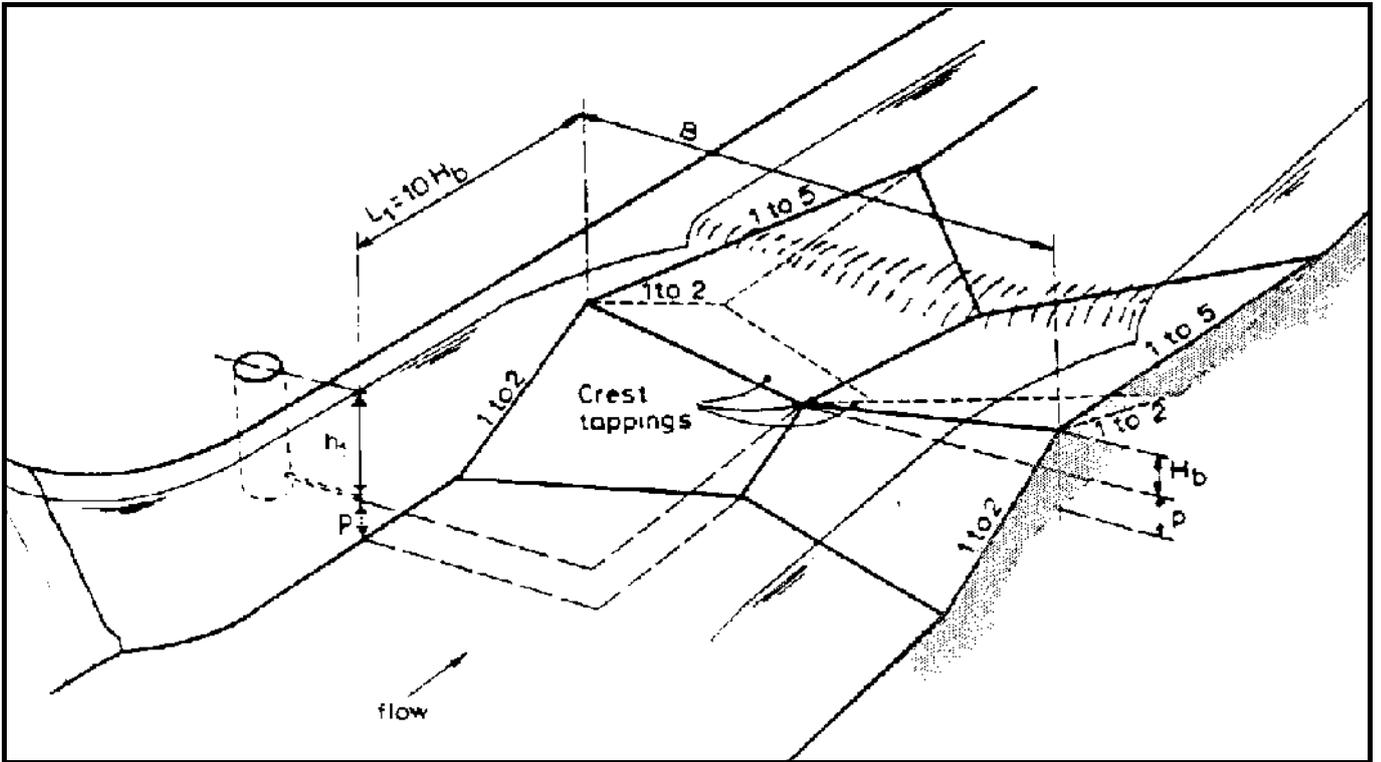
En síntesis, las ventajas que presenta la estación de aforos de doble vertedero triangular en relación con otras de aparentemente parecidas características son las siguientes:

- La apertura progresiva de la sección transversal le da gran sensibilidad a la hora de registrar caudales pequeños. La escasa pendiente transversal del vertedero permite registrar grandes caudales sin producir afecciones inaceptables.
- Es capaz de registrar con precisión amplios rangos de caudales a partir de una sola lectura del nivel de agua aguas arriba.
- Cuando el caudal circulante llega a superar el denominado límite modular (máximo caudal que puede medirse con precisión a partir de una sola lectura de nivel) y se dan condiciones de sumergencia, sigue siendo posible determinar el caudal sin perder precisión a partir de dos medidas de nivel y fórmulas experimentales.
- La ecuación de la curva de gasto teórica obtenida en laboratorio para este tipo de estación se corresponde perfectamente con la obtenida por medio de aforos directos.
- La aceleración que se produce en las proximidades del labio del vertedero es suficiente para evacuar los sedimentos que en caso contrario modificarían progresivamente la

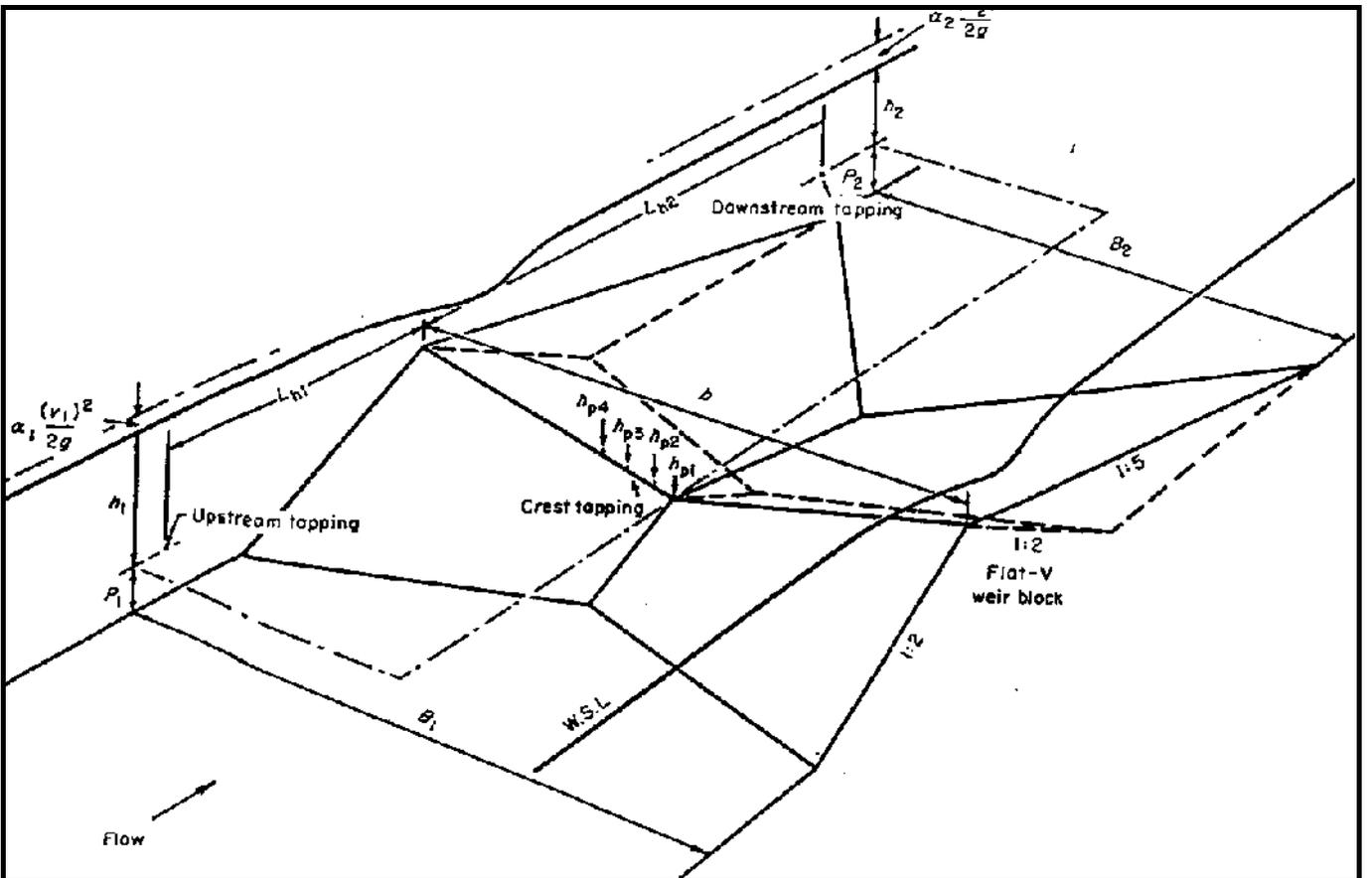
curva de gasto.

- Su adaptación al medio es excelente, integrándose perfectamente en el entorno. En casos de labios de vertedero de gran altura sobre el cauce es posible incluso construir escalas que permiten el paso de peces.

El aspecto que presentan las estaciones de aforo de doble vertedero triangular es el que se muestra en las figuras siguientes:



Estación de aforos tipo V-weir (doble vertedero en V)



Estación de aforo de doble vertedero en V

8.2.3 Principios básicos de diseño

Como resultado de las investigaciones realizadas sobre estaciones de aforo con vertedero de doble perfil triangular se ha llegado a las siguientes conclusiones que se deben tomar como principios básicos de diseño:

Tipología del vertedero

Se recomienda diseñar un vertedero con las siguientes características:

- pendiente longitudinal del vertedero aguas arriba 1:2
- pendiente longitudinal del vertedero aguas abajo 1:2 ó 1:5⁵
- pendiente transversal del vertedero menor que 1:10

Muros laterales

Las fórmulas de cálculo del caudal únicamente son válidas para alturas de lámina inferiores a la del vertedero triangular o superiores a este siempre y cuando los muros sean verticales, perpendiculares al vertedero y paralelos entre sí.

Los muros se deben prolongar hacia aguas arriba como mínimo a una distancia igual a $H_{m\acute{a}x}$ a partir de la toma del pozo tranquilizador, donde $H_{m\acute{a}x}$ representa la máxima energía en condiciones de flujo modular. A partir de este punto, los muros deben expandirse hasta alcanzar el ancho del cauce, recomendándose un acuerdo circular de radio $2 H_{m\acute{a}x}$.

Tramo de aproximación

El tramo de aproximación al vertedero debe trabajar en régimen subcrítico. El fondo del cauce debe ser aproximadamente uniforme. El tramo debe tener la longitud suficiente para que a la altura del punto de toma de niveles no existan componentes transversales de la velocidad.

Para reducir las perturbaciones en la lámina de agua, el número de Froude en la aproximación debe ser suficientemente bajo, por ejemplo inferior a 0.5

⁵ La pendiente longitudinal 1:2 únicamente permite registrar caudales en el rango del caudal modular. La pendiente 1:5 permite en caso necesario utilizar el vertedero en régimen sumergido.

Medida del nivel aguas arriba

La toma debe quedar situada a la cota mínima del vertedero. El tubo de unión del pozo tranquilizador con el río debe ser recto. El extremo del tubo en contacto con el cauce puede llevar un cierre perforado y desmontable embutido en el muro.

Debido al carácter tridimensional del flujo de aproximación al vertedero, se produce una depresión superficial en la lámina inmediatamente aguas arriba del punto más bajo del mismo. A una distancia aproximadamente igual a 10 veces la altura del vertedero sobre el cauce, las variaciones transversales de altura de lámina son prácticamente despreciables.

Como consecuencia, la toma de niveles se debe instalar a una distancia igual a $10 P_v$ salvo en los casos en que $10 P_v < 2 H_{m\acute{a}x}$ en los cuales se instalará a una distancia igual a $2 H_{m\acute{a}x}$.

Existen correcciones para los casos en que resulte imprescindible realizar la medida de niveles a distancias más próximas al vertedero.

Pozo tranquilizador

La sección del pozo tranquilizador debe hacerse de acuerdo a la geometría de los tubos de toma de niveles, de forma que la diferencia entre los niveles del río y pozo sea aceptable.

Medida en condiciones de sumergencia

Para poder medir caudales en régimen de sumergencia, se necesita un vertedero con pendiente longitudinal 1:5 en la cara de aguas abajo. Las perforaciones del labio del vertedero deben registrar el nivel piezométrico en un punto situado a 10 mm aguas abajo y descentrado lateralmente una distancia igual a 0.1 veces el ancho total del vertedero.

Límites de aplicación de las fórmulas de caudal modular

El límite práctico de medida está relacionado con la importancia de la influencia de las propiedades del fluido y de la rugosidad del labio. En la práctica, en una estación muy cuidada con labio liso, el nivel piezométrico mínimo es 3 cm. Si el labio es más rugoso (mortero, etc..) este valor se duplica.

8.3 Elementos auxiliares

Aparte de la estructura formada por el vertedero hidráulico -o de la sección natural en el caso más sencillo de estación de aforo-, es necesario disponer otros elementos auxiliares que permiten realizar la medición. Estos elementos son los siguientes:

- Caseta y muros
- Elementos hidráulicos
- Instrumentación

8.3.1 Caseta y muros

La caseta sirve para proteger de la intemperie y del vandalismo los equipos de medida tanto mecánicos como eléctricos. Por otra parte, da acceso a los elementos hidráulicos de la estación de aforos. Finalmente, en el caso de llevar instalado un torno, permite la realización de aforos directos desde su interior en cualquier situación climatológica, incluso en avenidas.

Se trata de una pequeña edificación cuyo diseño se realiza inspirándose en las construcciones locales para identificarse con el paisaje. Las dimensiones son variables, en función de los elementos de medida que debe albergar. En el caso de estaciones con medida de calidad de agua, las dimensiones libres de la caseta deben ser 6 x 4 m. Para estaciones con medida de caudal sin calidad de agua bastaría con una caseta de dimensiones 3 x 3, aunque esta cifra depende de que se instale torno o no.

La caseta debe estar elevada sobre el cauce, fuera del alcance de la avenida de 100 años de período de retorno para evitar la ruina de la estructura y la pérdida de equipos y datos. Debe resultar posible el acceso en caso de avenida.

La caseta debe estar provista de ventanas hacia el cauce y hacia aguas arriba. Debe estar dotada de alimentación eléctrica para alimentar los equipos que lo precisen e iluminar la estancia. Finalmente, debe estar protegida en lo posible contra robos y vandalismo evitando el acceso de personas no deseables a su interior.

La puerta blindada que da acceso al interior debe ser suficientemente ancha para permitir con holgura el paso de los equipos a instalar o mantener. La puerta debe estar situada junto al acceso.

Los muros sirven de soporte a la caseta y hacen las veces de elemento de regularización y encauzamiento de las secciones inmediatas a la de aforo. Al encauzar el flujo, los muros garantizan que los

caudales inciden con el ángulo correcto. Se construyen en hormigón armado generalmente con tipología de muro en "L". El trasdós se rellena de material granular para favorecer el drenaje.

Al menos uno de los muros, el opuesto a la caseta, lleva adosada una regleta que se emplea para calibración de equipos y lecturas manuales.

8.3.2 Elementos hidráulicos

El elemento básico de medida es el pozo tranquilizador, situado bajo la caseta. El pozo de tranquilización se conecta al río mediante tubería de 10 cm. de diámetro con válvula de aislamiento.

Este diámetro permite igualar los niveles del río y pozo por vasos comunicantes y a la vez dar inercia a las variaciones bruscas de nivel debidas al oleaje. El diámetro del pozo no será inferior a 60 cm. El pozo alberga los flotadores que realizan la medida de nivel.

Para vaciar el pozo se construye un by-pass, de diámetro 600 mm. que aísla la estación hidráulicamente y permite limpiar los acarrees. Para abrir o cerrar el by-pass se instala una válvula de tajadera con estanqueidad. Se accede a las válvulas por un registro cuya tapa está en la base de la caseta.

En estaciones con medida y registro de la calidad de agua se dispone una nueva tubería de 100 mm. de diámetro que permite realizar la aspiración para bombear el agua a los diferentes analizadores.

8.3.3 Instrumentación

La caseta alberga los siguientes equipos de medida:

- Torno mecánico para facilitar las tareas de realización de aforos directos en aguas altas. Se trata de un equipo caro pero extremadamente importante para garantizar la calidad de los registros. El otro extremo del torno que soporta el cable queda anclado en la margen opuesta.
- Lastres (salmones) de 5, 25 y 50 kg.
- Limnógrafo de precisión con salida de datos en código binario. Se trata del equipo principal de registro de niveles de flotador. Produce una salida directamente interpretable por el data-logger.
- Limnógrafo mecánico de flotador con registro en papel de duración 1 mes. Este equipo se emplea como sistema de backup del limnógrafo electrónico para garantizar que no se pierde información en ningún caso
- Equipo de toma automática de muestras para alimentación continua de los módulos de calidad. Se trata de un equipo muy caro de coste y mantenimiento que se reserva a casos específicos.
- Equipo de adquisición automática de datos (data-logger) con varios canales, que pueden servir para registrar el caudal, temperatura, precipitación, así como las variables de calidad de agua en su caso
- Opcionalmente, si la estación queda asociada a una red de teletransmisión de datos, la instrumentación debe incluir los equipos necesarios, que pueden consistir en
 - equipo de radio
 - modem
 - acceso a líneas telefónicas convencionales
 - terminal de acceso a satélites
 - acceso a redes de telefonía móvil GSM

9.- ORGANIZACIÓN DE LOS SERVICIOS DE HIDROMETRÍA

9.1 Funciones

Una vez construida la red de aforos comienza la fase de operación. Esta fase, hasta cierto punto rutinaria, requiere la organización de unos equipos de personal capaces de atender las necesidades de la red.

Las funciones que los servicios de hidrometría deben cumplir se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Mantener operativas las infraestructuras de aforo, asegurando su aptitud para las medidas de flujo
- Mantener operativos los equipos mecánicos y electrónicos para evitar la pérdida de datos y garantizar la máxima calidad y precisión para los registros
- Recoger la información básica en las estaciones de aforo
- Mantener las curvas de gasto mediante la realización de aforos directos.
- Elaborar los datos básicos recogidos en las estaciones de aforo con los objetivos siguientes:
 - Mantener actualizada una base de datos. Los datos a mantener son los básicos diezminutales resumidos a diarios, los datos diarios resumidos a mensuales y anuales y los valores característicos de los fenómenos extremos (hidrogramas de avenida, caudales de estiaje..
 - Responder a las consultas de información realizadas con datos garantizados, y por lo tanto exentos de polémica. Tales consultas pueden ser necesarias por ejemplo para trabajos de planificación hidrológica, para dar respuesta al servicio de peticiones de información hidrológica por parte del público, o para la elaboración de certificados oficiales. En el futuro, los datos podrán servir para la predicción de caudales en redes de tiempo real.
 - Elaborar periódicamente el anuario de aforos, documento oficial básico de consulta en el que se apoyan todos los estudios.

Aparte de la relación de niveles y caudales diarios con sus resúmenes y estadísticos

correspondientes mes a mes, el anuario debe ser un instrumento de difusión de la información hidrológica de cada estación de aforos para lo cual debe incluir las series históricas observadas, un resumen estadístico de las mismas y una comparación del año concreto a que se refiere el documento con los valores estadísticos medios de la serie histórica.

La organización de un servicio de hidrometría necesita como mínimo los elementos siguientes:

Medios materiales

Equipos humanos

9.2 Medios materiales

Para organizar un servicio de hidrometría del tamaño del propuesto para las islas Baleares, es necesario contar como mínimo con los medios técnicos siguientes:

Medios de campo (para cada isla, en total 3)

Los equipos de campo utilizan una serie de útiles que deben estar siempre a mano, por lo que lo más práctico resulta especializar un vehículo en éste tipo de operaciones

- Un vehículo, a ser posible todo terreno, que alberga de forma permanente los equipos básicos que se requieren para el mantenimiento básico de las estaciones y para la realización de aforos directos. El vehículo debe ir provisto al menos de:
 - Molinete, micromolinete y diversas hélices junto con el varillaje necesario para aforos de vadeo
 - Salmones pequeños, para la realización de aforos directos no programados (los salmones más pesados se albergan permanentemente en las casetas de las estaciones de aforo)
 - Equipo contador de revoluciones de hélice automático y baterías de repuesto
 - Carretón desmontable, preparado para la ejecución rápida de aforos desde puentes o pasarelas
 - Prismáticos, para observar con detalle la lectura de escala en estaciones relativamente anchas.
 - Caja de herramientas específica para los equipos de aforo y grasas especiales
 - Baterías y módulos de memoria para los data-logger
 - Un ordenador portátil para recuperar información de los data-logger
 - Un sistema de comunicación con la base (teléfono celular, radio, walkie-talkie, etc..)
 - Llaves de acceso a las estaciones
 - Botas, vadeadores, cuerdas y chaleco salvavidas
 - Cinta métrica para las medidas relacionadas con el ancho del cauce en aforos directos

- Estadillos específicos de aforo directo y material de oficina para anotar los datos de campo
- Azadón, pala y cepillos para labores básicas de mantenimiento en cauces

Con independencia de éstos medios de mantenimiento, es necesario tener en cuenta la operación anual de limpieza de estaciones, consistente en el dragado con retroexcavadora de los sedimentos acumulados tras los vertederos de las estaciones de aforo. Para poder realizar esta operación, es importante pensar en los accesos de las máquinas al cauce en la fase de proyecto de la estación.

Para éste mantenimiento, lo más sencillo es la subcontratación de maquinaria local. El mantenimiento puede exigir además la limpieza de la vegetación acumulada en el cauce, que se puede realizar con la misma maquinaria o con procedimientos manuales. Habría que contar con un presupuesto anual para estas tareas de mantenimiento, de aproximadamente 30 millones de pesetas para toda la red

Medios de oficina (únicamente para la central en Mallorca)

En gabinete, los técnicos encargados de la hidrometría deben contar con una serie de elementos que hacen posible o facilitan la ejecución de las tareas rutinarias.

- Al menos un potente ordenador de última generación que haga las veces de servidor de datos y preparado para realizar las labores de tratamiento de la información. Entre otros elementos, el ordenador debe contar con los siguientes equipos auxiliares.
 - Una tableta digitalizadora de tamaño mínimo DIN A-3 para introducir la información procedente de equipos mecánicos en las bases de datos
 - Una impresora de calidad, en color
 - Un equipo especializado en el almacenamiento masivo de datos (disco magneto-óptico, Zip, Jazz, Cinta, CD-ROM regrabable, etc..)
 - Un modem rápido con conexión a correo electrónico, para facilitar los intercambios de información
 - Software específico de tratamiento de la información hidrológica con gran apoyo gráfico, incluso basado en sistemas de información geográfica, que facilite como mínimo

las siguientes tareas

- gestión de los datos básicos de las estaciones de aforo
 - cálculo de aforos directos a partir de datos de campo
 - gestión de los aforos directos
 - digitalización de datos de limnigramas
 - captación de datos procedentes de data-logger
 - cálculo y gestión de las curvas de gasto
 - comparación de datos obtenidos en data-logger con datos procedentes de equipos mecánicos
 - obtención de hidrogramas a partir de limnigramas
 - corrección semi-automática de datos básicos
 - compresión de datos básicos a datos diarios y almacenamiento en las bases de datos
 - programas de tratamiento de datos diarios
 - generación automática del anuario de aforos
 - compresión de datos diarios a mensuales y anuales y almacenamiento en bases de datos.
 - opciones diversas para la realización de gráficos y listados
 - programas de utilidad
- Repuestos de los equipos de uso más frecuente, para evitar las demoras en el suministro de recambios y las posibles pérdidas de datos. Entre los repuestos, cabe mencionar:
- Molinete y hélices de repuesto, para casos de avería o envío a calibración
 - Módulos de memoria para los data-logger
 - Baterías de repuesto de los diferentes equipos
 - Al menos un limnígrafo de repuesto
 - Varias escalas para adosar a los muros

9.3 Medios humanos

Para administrar la futura red de aforos de las islas Baleares se necesita un equipo de escaso tamaño pero elevada cualificación que necesariamente trabaja a tiempo completo en hidrometría. El personal puede residir en cada una de las islas o bien trasladarse periódicamente desde la central para realizar los ciclos de toma de datos y mantenimiento.

El número mínimo de técnicos que se necesitan para operar y mantener operativa la red completa asciende a cinco ó seis, con la siguiente distribución:

- Tres ó cuatro personas para trabajos de campo, de las cuales
 - Una persona que organiza, instruye y dirige los trabajos de campo y, en caso necesario como enfermedad, sustituye a los aforadores. Esta persona debe tener una cualificación de técnico de grado medio
 - Dos o tres personas para los trabajos de campo (aforos directos y mantenimiento), con categoría de auxiliares técnicos, dirigidos por el técnico de grado medio. Los aforos directos son realizados por un equipo de dos personas como mínimo por cuestiones operativas y de seguridad
- Dos personas para los trabajos de gabinete en la oficina central, de las cuales
 - Un titulado superior con formación específica en hidrología (normalmente un ingeniero, geólogo, etc.), capaz de organizar el servicio, manejar y corregir la información y transmitir al jefe de los trabajos de campo las necesidades o deficiencias.
 - Un titulado de grado medio con formación en hidrología, dirigido por el titulado superior, experto en manejo de paquetes informáticos que se encarga de las labores de incorporación de datos al sistema incluyendo la lectura de data-logger, digitalización y tratamiento de datos básicos y de extracción de datos bajo consulta.