

EL CAUDAL MÍNIMO MEDIOAMBIENTAL DEL
TRAMO INFERIOR DEL RÍO EBRO

JOSEP MARIA FRANQUET BERNIS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA
CENTRO ASOCIADO DE TORTOSA

EL CAUDAL MÍNIMO MEDIOAMBIENTAL DEL TRAMO INFERIOR DEL RÍO EBRO

JOSEP MARIA FRANQUET BERNIS

2009

Primera edición, mayo de 2009

© Josep Maria Franquet i Bernis
e-mail: jfbernis@iies.es

ISBN: 978-84-930671-7-5

Depósito legal: T-761-2009

Edita: UNED-Tortosa. C/ Cervantes, nº: 17, 43.500 TORTOSA
Imprime: **Cooperativa Gráfica Dertosense**,
C/ Cervantes, nº: 21, 43.500 Tortosa.
Tel.: 977 44 00 28
Fax: 977 78 39 22
e-mail: graficadertosense@hotmail.com

Impreso en España
Printed in Spain

<p>Reservados todos los derechos de publicación en cualquier idioma. La reproducción total o parcial de esta obra mediante cualquier procedimiento, ya sea mecánico, óptico, reprografía o bien tratamiento informático, así como la distribución de ejemplares por medios de alquiler o préstamo, están rigurosamente prohibidos sin la autorización escrita previa del autor, excepto citas, siempre que se mencione su procedencia, y serán sometidos a las sanciones establecidas por la ley. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de su titular, salvo excepción prevista por la ley.</p>
--

...Y entre los santos de piedra
y los álamos de magia
pasas llevando en tus ondas
palabras de amor, palabras.

Quién pudiera como tú,
a la vez quieto y en marcha,
cantar siempre el mismo verso
pero con distinta agua...

(Gerardo Diego en *Romance del Duero*)

PRÓLOGO

El amigo Josep Maria Franquet me ha pedido que le prologue esta nueva obra suya, no sé si consciente o inconscientemente de que me pone en un apuro. Me explico.

Debo empezar por reconocer que para cualquier persona es un honor que alguien le solicite el prólogo de un trabajo creativo, y más si es de la envergadura del presente. Para todo autor, un libro representa un evento importante de su vida, algo a lo que ha dedicado muchas horas robadas a su tiempo y al de su familia, y también mucho entusiasmo.

Siempre se ha dicho que el proceso de realización personal no se acaba hasta que uno no ha tenido un hijo, plantado un árbol y escrito un libro. Visto así, el hecho de que Josep Maria me pida este prólogo en algo tan significativo de su vida, lo interpreto y lo siento como una deferencia hacia mi persona y hacia mi obra como científico y humanista. También lo siento como el testimonio público de una solvente amistad y aprecio mutuos.

Un prólogo es también ocasión de compartir honores inmerecidos de un trabajo en el que el prologuista, al fin y al cabo, no ha hecho nada, como es mi caso. Es también un halago. Nadie, por humilde que sea, está despojado del deseo de culto a su ego. En este sentido, la oferta que me hace Josep Maria es una tentación irresistible a mi pequeña o grande vanidad. Y es, finalmente, también una ocasión para hacer un homenaje al autor.

“Franquet” es un personaje popular de *les Terres de l'Ebre*; un ser querido, porque se hace querer. Tiene el don de la simpatía y la caballerosidad. Personalmente admiro su extraordinario polifacetismo y su actividad; es una máquina de hacer cosas, siempre con un talante humano y jovial. No sé cuantos libros lleva escritos; muchos. De entre ellos he leído aquellos que versan sobre temas de mi quehacer profesional; es decir, relacionados con la hidrología y la hidráulica, con la política y la gestión del agua. El libro que tituló *Con el agua al cuello*, publicado en el 2001, me lo devoré con verdadera fruición; me interesaron aquellas “55 respuestas al Plan Hidrológico Nacional”. Sé que también ha escrito libros sobre ordenación del territorio, sobre la estructura de la propiedad agraria, fitopatología, economía, construcción, poesía, acuicultura, psicología, climatología de *les Terres de l'Ebre*,...

Nos conocimos hace ya quince años con ocasión de esa cruzada interminable que es y será la oposición a los proyectos de trasvases del

Ebro. Los dos entendimos desde el principio la dimensión extrahidrológica de esos proyectos, el nuevo desorden y la dinámica de continua huida hacia delante en la que, -de forma irresponsable a nuestro entender-, aquella actuación nos habría de perpetuar, en el caso de ser ejecutada; estaba destinada a convertir, paso a paso, a nuestro gran río mediterráneo, el Ebro, en un nuevo Júcar, un Turia, un Segura, un Tajo,... Hoy todos ellos son auténticos cadáveres hidrológicos del progreso.

Era evidente que tanto el Anteproyecto de Ley del Plan Hidrológico Nacional de entonces (año 1993) como en el Plan que se aprobaría después -cada uno con gobiernos de distinto color-, eran esencialmente un “más de lo mismo”. En ambos casos su quinta esencia era el reparto de los caudales del Ebro. Se ha llegado a afirmar, en boca de todos los ministros responsables del ramo habidos desde Borrell a Matas, que sin el trasvase del Ebro no había plan hidrológico nacional posible; una lamentable y significativa afirmación, que indica el nivel de obsesión y de presiones de intereses que hay detrás, gobierne quien gobierne. Es como si todo lo demás, la ingente labor de regeneración hidrológica del país que quedaba por hacer, frenar la degradación, respetar lo que quedaba, poner orden en el consumo, ganar en eficiencia, revisar concesiones, reasignar usos, poner coto a la expansión del regadío, ordenar el dominio público hidráulico, gestionar las avenidas y sequías,... y respetar los valores consustanciales de los ríos por lo que estos significan como patrimonios de memoria, cultura e identidad, nada tuviera que ver con un plan hidrológico nacional, obsesionado y presionado para repartirse el Ebro y conectar el maná hidrológico pirenaico con el litoral mediterráneo, para seguir alimentando los grandes negocios -insostenibles ya entonces- de la especulación y la construcción. Todo esto en un país que lo que en verdad necesitaba era frenar la marcha hacia su holocausto hidrológico total.

Entendimos los dos que lo que estaba juego no era tanto una merma relevante de caudales pretendidamente sobrantes que se “perdían” en el mar, sino la alimentación de una dinámica de progreso mal enfocada, deshumanizada y vandálica, que había tocado fondo, pero que los grandes intereses organizados inherentes a todo gran proyecto hidráulico, los dineros que mueven, y los negocios que hay detrás del agua no querían comprender. Hoy seguimos igual.

En ese sentido, el nuevo libro de Josep Maria Franquet vuelve a insistir y a denunciar, en el año 2009, el ansiado reparto del Ebro, disfrazado ahora de pretendido respeto a unos caudales ecológicos o ambientales.

Siempre ha defendido nuestro amigo que, dentro de un orden y desde hace ya tiempo, las actividades económicas que requieren nuevos recursos de agua en cantidades significativas deberían establecerse allí donde las condiciones naturales del territorio lo permiten, y no dónde la tecnología lo permite y al clientelismo político le conviene, porque de ser así acabaríamos poniendo la naturaleza del revés, como ya estamos haciendo, arrodillada la grandeza del saber al servicio de los complejos y oscuros intereses de un modelo económico inmoral, que sólo sabe ver en la naturaleza oportunidad de negocio y de poder.

Obviamente, todo tiene su orden y su medida. El bien hacer en la aplicación de la tecnología hidráulica, con sus grandes embalses, sistemas de elevación y trasvases, está en la sabiduría de discernir entre el uso y el abuso; está en entender que no todo lo que la tecnología es capaz de hacer o modificar es legítimo ejecutarlo, porque luego viene el culatazo. Ni todo aquello que los intereses del gran capital puedan pagar o comprar, es susceptible de ser vendido, porque hay unos límites morales. Hay cosas que no tienen precio de mercado, porque son valores.

Entre las numerosas frases que tengo anotadas en las fichas de mis lecturas de los trabajos de nuestro autor, hay una que quiero destacar: *“El equilibrio territorial se logrará cuando las masas socioeconómicas de población y de renta se hallen distribuidas de modo más uniforme y sin concentraciones de recursos que acaban generando mayores desequilibrios de todo tipo, empezando por los humanos y siguiendo por los del territorio....”*

En la situación de la España de los años noventa del pasado siglo, en el nivel de equipamiento hidráulico para entonces alcanzado, con más de 1.200 grandes embalses y más de 50.000 hm³ de capacidad de almacenamiento, con ingentes usos consuntivos de agua destinados al regadío en un país de hidrología mediterránea, se podía decir que ya habíamos tocado fondo; que no era cuestión de seguir soltado más hilo a la cometa, sino de controlarla para que no se nos escape. Lo que procedía no eran más operaciones de alta fontanería del territorio, ni justificar la manera de dar dos nuevas vueltas de tuerca a unos ríos exigüos y disfuncionados, y menos desde coartadas morales tan ingenuas como la solidaridad interregional, en un mundo de rapiña, sino poner orden, gestionar el recurso y proteger los valores en juego frente a una voracidad insaciable de agua.

Era difícil en aquella realidad -como lo es en la de ahora también- predicar ante la sociedad que los nuevos trasvases y las nuevas oleadas de embalses eran -y son-, improcedentes por principio. Hoy, si pensamos en

los derechos de las generaciones venideras y en la inversión pública que suponen determinados proyectos, cabe decir que ya no son moralmente admisibles; no se pueden seguir justificando nuevos asaltos a lo poco que va quedando de nuestros ríos en base a la necesidad de nadie.

En la medida que el agua es dinero, poder y revalorización de patrimonios privados, el apetito por poseerla no tiene límite de satisfacción posible. No hay necesidad de agua en ninguna cuenca hidrográfica que el buen gobierno, el sentido del límite, la reasignación de usos, la revisión de concesiones, la eficiencia, el ahorro, el freno al despilfarro, el cumplimiento de la ley y de los compromisos con la Directiva Marco europea, junto al poder tecnológico de la potabilización, la reutilización y depuración de las aguas residuales, no puedan resolver. Otra cosa es que estemos confundiendo deliberadamente “necesidad” con “apetencia”, desarrollo con codicia, y solidaridad con negocios personales.

En esa realidad hay que decir a la sociedad y bien alto, que el momento de cortar por lo sano las viejas políticas ha llegado, y decir un “hasta aquí hemos llegado, llamemos a las cosas por su nombre, y dejemos de manipular el sentimiento y el pensamiento de los ciudadanos!” Era ya en aquellos años del primer tercio de los 90’ el momento de aplicar la prudencia, el sabio Principio de Precaución.

Josep Maria Franquet es persona del territorio; por eso se ha quedado a vivir en él y lo defiende. Ha estudiado detenidamente los caudales del Ebro en su tramo inferior, y ha sido siempre taxativo en afirmar que “no sobra agua”, de forma que es inmoral hablar de caudales sobrantes. Estoy de acuerdo con él en que no se puede confundir a la opinión pública del país con discursos políticos adobados de un cientifismo ciego y servil, que pretende que los caudales a detraer del Ebro -sea para trasvasarlos o para nuevas expansiones de regadío en la cuenca- son caudales sobrantes. Con frecuencia solemos oír argumentos tan ingenuos como “el agua es de todos”. Sí, suelo responder, pero en la realidad de unos, los que se la han apropiado, más que de otros. ¿Quiénes son hoy en día los grandes beneficiados del uso de los ríos, sus auténticos dueños fácticos gracias a un generoso sistema concesional?. No es necesario mencionarlos uno a uno; son determinados poderes del sector hidroeléctrico y algunos grandes sindicatos de regantes. Esa es la realidad.

El agua es “de todos”. Si suelo afirmar, como lo es la Alhambra de Granada, pero esencialmente allí donde está, representando lo que representan, cumpliendo sus funciones en la historia de la vida y la cultura; por eso nadie está autorizado a pedir el desguace y reparto de los

patrimonios del arte y la cultura. Salvando distancias y la naturaleza de las comparaciones, eso es lo que durante décadas hemos hecho con los ríos: desaguarlos, repartirlos y privatizarlos. Hay quienes, a costa de un bien esencialmente público, han amasado auténticos patrimonios privados sobre un bien estratégico, que ni el poder económico de un Estado es ya capaz de rescatar. Nos han vendido los ríos, que es lo mismo que vender el territorio, y lo poco que va quedando aún nos lo quieren vender. La sociedad tiene que sacudirse los viejos tópicos del agua con los que es manipulada, y entender que lo que pudo ser bueno y necesario en un momento histórico determinado y hasta un cierto límite, hoy ya no lo es, simplemente porque las realidades sociales han cambiado, y porque hay unos fines que ya se han alcanzado.

Josep Maria Franquet ha sido político activo, pero siempre desde posturas moderadas teñidas de un claro humanismo y desde un respeto a la libertad de opinión. En la medida que yo le conozco, no ha sido hombre sometido nunca a disciplina de partido alguno, sino que siempre ha primado en él su libertad e independencia. También es persona apasionada por la docencia universitaria; imparte saberes tecnológicos puros, si bien impregnados de una capacidad de reflexión y sentido humanístico, en su caso a través de la defensa de unas señas de identidad de un territorio al que ama, y desde ese foro que es la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

* * *

Dicho esto, el lector se estará preguntando a qué viene ese apuro del que he hablado a la hora de prologar este libro. ¿Dónde está mi contradicción y mi apuro del que he hablado al principio, ante el encargo del amigo?. Pues bien, el aprieto en el que me pone es precisamente el contenido de algunas partes del libro, aquellas que habla de los caudales ecológicos, de los sistemas y métodos de determinación, de índices numéricos de determinación de caudales ambientales,... donde reconozco mi ramalazo de radicalidad.

El término “ecológico” aplicado a los caudales de un río me parece una grave concesión que hemos hecho los científicos desde una aparente inocuidad del lenguaje, como cuando se nos habla del coche ecológico, del aire acondicionado ecológico, de la energía ecológica, y de una larga monserga de cosas autoadornadas con el adjetivo calificativo de “ecológico”, venga o no a cuento. Evidentemente, todo este juego del lenguaje no es porque sí; detrás hay una estudiada intencionalidad. Lo ecológico vende imagen.

A veces el lenguaje de las metáforas, el de las parábolas, resulta más esclarecedor que el discurso académico. Por eso tengo tendencia a usarlo. ¿Podríamos, por ejemplo, hablar en términos de una “respiración ecológica”? ¿Hasta que nivel máximo de contaminación del aire que respiramos, o de empobrecimiento de su porcentaje en oxígeno, podríamos respirar sin morirnos? ¿Podríamos llamar a eso “respiración ecológica” fundamentándonos en que nos garantiza la vida? ¿Podríamos, en vez de respirar 13 veces por minuto, hacer la mitad de inspiraciones y seguir viviendo, a base de movernos más lentamente, ser menos vitales, dejar de hacer ejercicio, de practicar deportes, de pasear por placer, o de subir a las montañas? Por más que esa respiración nos garantizara la vida, ¿podríamos llamarla respiración “ecológica”? ¿Cómo podemos tolerar que se nos hable en términos de caudales ecológicos, de respeto a los valores de los ríos, no sólo hidrológicos sino también simbólicos, patrimoniales de memoria, de belleza, de magia, etc., definidos como la garantía de un 10% del caudal natural medio?

La perversidad del término “caudal ecológico” o “caudales ambientales” está en el uso al que luego se presta, que nos permite calificar a los caudales restantes de “caudales sobrantes”. ¿Cómo a un río le puede llegar a sobrar el 90% de su aportación? ¡Por favor!

Cierto es que esa parte del libro de Josep Maria Franquet, que habla de caudales ecológicos y medioambientales, no está enfocada con la pretensión de dar carta de validez a los métodos que en él se exponen, sino más bien de presentarlos, invitando a pensar sobre cuáles serían sus consecuencias para el tramo final del Ebro. En el fondo sé que mi amigo Franquet piensa que todo ese mundo de cifras y parámetros utilizados para valorar algo que, por su propia naturaleza, es en buena medida cualitativo, es una simple manera cercenada de medir una realidad mucho más compleja. De hecho, no creo faltar a ningún secreto personal si transcribo aquí el texto de la carta en la que me pidió que le hiciera el honor de prologarle el libro:

Yo no creo demasiado en métodos cuantitativos geniales, cuyos resultados -como no ignoras-, varían substancialmente en función de los coeficientes aplicados. Creo que los ríos deben ser conservados y mantenidos en un estado lo más próximo posible al NATURAL, ofreciendo un aspecto completamente saludable y posibilitando la pervivencia de los ecosistemas. Sobre esas bases simples, que sin duda compartimos, te agradecería elaborases un prólogo sencillo, de unas dos páginas.

Ese es Franquet, nuestro querido y popular Franquet. Pese a que nos conocemos desde hace tiempo, no se ha percatado de mi incontinencia epistolar cuando de temas como el presente me toca hablar, en los que se mezcla el precio y el valor de las cosas, lo divino y lo humano, lo físico y lo metafísico, junto con el tema de los derechos de las hoy indefensas generaciones venideras, ausentes en el festín; por eso esas dos páginas van a acabar siendo unas cuantas más.

No se puede hablar de caudales ecológicos, y menos aún en esos términos del 10% del módulo; me da igual que les cambien el nombre y los llamen “caudales ambientales” mientras sigamos hablando de esas magnitudes. Son términos incorrectos y perversos, que tenemos que poner empeño en erradicar, no sólo del lenguaje científico sino también del mediático, del político, del jurídico, del popular y del educativo. Y todavía más empeños en relación con la intencionalidad aberrante de la expresión “caudales sobrantes”.

Los caudales necesarios para la puesta en regadío de los proyectos que las diferentes Comunidades Autónomas de la cuenca del Ebro tienen en hoy en día en proyectos decididos y firmes, que siguen prometiendo en sus campañas electorales, muchos de ellos en ejecución, representan una detracción al tramo final del Ebro equivalente a tres veces el polémico trasvase que en su día aprobó la Ley del PHN. Las “reservas estratégicas” de 6.500 hm³/año para Aragón incluidas en el Pacto del Agua, que la ley del propio PHN asume y que el Gobierno Zapatero no ha osado tocar, representan un equivalente a seis trasvases más que, unidos al de momento derogado, suman diez trasvases. El Parlamento de Cataluña ha hecho saber su opinión y su exigencia de que mientras el río los lleve, la aportación en la desembocadura no deberá ser inferior a los 12.000 hm³/año; es decir, el montante de doce nuevos trasvases, y que en ninguna ocasión el río deberá desaguar al mar menos de 7.500 hm³/año; es decir siete trasvases; son las aportaciones mínimas para asegurar la pervivencia del Delta.

En ese contexto, el juego hidropolítico (el agua hace años que es un cromo de los juegos políticos) permite incluir en la reforma del Estatuto valenciano el derecho de la Comunidad a los “caudales sobrantes” de otras cuencas (se sobreentiende que la del Ebro). ¿De qué caudales sobrantes estamos hablando? Todo esto -se nos insiste- con el máximo respeto al medio ambiente. ¿A qué estamos jugando? ¿Por qué nos toman el pelo así a los ciudadanos?

Creo que en el fondo esa crítica es el mensaje indirecto del libro, que en ese sentido no deja de ser un texto para una sutil reflexión hecha desde una

perspectiva científica. Sería incorrecto también -pero en todo caso menos tramposo- hablar en términos de “régimen de caudales ambientales mínimos”, aceptando que la salud de un río, la del ecosistema del que forma parte y alimenta, su funcionalidad hidrológica, su poder evocador y los valores metafísicos inherentes a todo lo que un río representa para el ser humano y para los territorios por los que discurre... necesitan de un “régimen” de crecidas ordinarias y extraordinarias, de unas ocupaciones eventuales de la llanura de inundación y de unos desbordamientos, como ocurre con el clima de cada región en relación con la flora y la fauna asentadas en él, que necesitan de los calores del verano, los rigores del invierno, los fríos, las heladas, las nevadas, etc., porque ellas son el resultado de la adaptación a esa realidad.

Nadie osa decir la tontería de que el calor y el frío están mal repartidos, que son irregulares en el espacio y en el tiempo. Si pudiéramos regular por ejemplo el clima de la España interior a base de controlar la dinámica de la atmósfera y la radiación solar captada, haciendo del tiempo una eterna primavera, a nadie se le escapa la cadena de desequilibrios de todo tipo que desencadenaríamos.

Evidentemente, en el modelo de desarrollo que nos han ido construyendo en las últimas décadas, con la anuencia de nuestra indolencia y la moral que lo ha gobernado y lo gobierna, regida por el afán de beneficio inmediato, hemos acabado llamando “progreso” a lo que con frecuencia no deja de ser un “darle fuego a todo”: ríos, territorios, culturas, identidades, memoria, derechos de las generaciones venideras, etc. En el caso de los ríos, es tal el desorden que hemos creado, tal el nivel de privatización que hemos concedido sobre un bien público demanial indispensable, y por tanto estratégico, que el simple hecho de hablar en términos propios del sentido común, resulta ya motivo de escándalo, de radicalidad, porque sólo se nos permite hacerlo de forma política y socialmente correcta.

Hoy, eso que llamamos lo “políticamente correcto” no nos permite ir a la raíz de las cosas, ni llamarlas por su nombre. Palabras como fluvicidio, expolio, holocausto hidrológico, pseudoparticipación, hidromilonga, fluviovandalismo, caudales de muerte, la mentira de las aguas sobrantes, la manipulación de la solidaridad, el falso interés general, las falsas mayorías, y todo un lenguaje hidrológico orwelliano con el que construyen los ciudadanos su pensamiento en relación al agua, no políticamente incorrectos, sirven para definir la percepción de una realidad y transmitir su esencia de forma universalmente inteligible, capaz de despertar conciencias,... Por eso están proscritas. Así no puede emerger jamás una inteligencia colectiva sobre el tema del agua.

Personas como Josep Maria, y muchas otras más entre las que me incluyo, entendemos que la destrucción de un río es mucho más que una cuestión química, física y biológica; es una auténtica amputación que se hace a la vinculación emocional del ser humano con el territorio, precisamente porque los ríos son elementos consustanciales de los territorios por los que siempre han discurrido, mucho antes que el ser humano, con su desmesura y su codicia patológicas, apareciera en el escenario de la Tierra.

Quienes desde una dimensión integral, holística, sabemos lo que es un río, aunque sólo sea por respeto debido a las generaciones venideras, no podemos consentir la consumación del fluvicidio de este país, ni de nuestro amado Ebro, en aras de un pretendido progreso, de una falsa solidaridad y de unas apetencias insaciables de quienes negocian con todo, desde la coartada del progreso, del interés general o del escrupuloso respeto a los valores medioambientales en juego.

Los nuevos planes de cuenca, los que se están pergeñando en la trastienda de las confederaciones hidrográficas al dictado del poder político central y de las presiones de los grandes intereses, están hoy llenos de palabrería biensonante, como participación, Directiva Marco, salud de los ecosistemas, caudales ecológicos y ambientales, etc., pero siguen siendo un “más de lo mismo”, planes del reparto del agua, cromos de los juegos de poder con los que intercambiar favores y mantener clientelas diversas. Son planes del fluvioexpolio del país. Esa es mi percepción, lo que me dicta mi ya larga experiencia.

Vivimos tiempos de un neovandalismo descarado, dicho sea con perdón de los vándalos; tiempos de violación de los derechos fundamentales de las generaciones venideras, de despersonalización de los territorios y de pérdida de valores de identidad humana; tiempos de falta de credibilidad profunda en las instituciones; tiempos de estafa y de manipulación del pensamiento a través de la publicidad y de la propaganda. Por eso, al decir estas cosas, que van a la raíz de la situación, nuestro discurso suena a radical.

* * *

Finalmente, quiero aprovechar la ocasión para felicitar al autor del libro por su reciente nombramiento como presidente del Consejo Económico y Social de las Tierras del Ebro, pero a la vez quiero hacerle saber el compromiso que adquiere. Va a sufrir presiones sobre el destino de ese tramo final del Ebro que tanto ha defendido hasta ahora.

Sabes, amigo Franquet, que hay intereses ostensibles en artificializar el río para hacerlo practicable a las embarcaciones a motor; es decir, a la extensión del ruido y los olores a combustibles allí donde hoy todavía hay silencio embriagador, olores de naturaleza y vida en armonía. Lo quieren hacer a través de un plan de azudes que aumente el calado del río, creyendo que así se va a potenciar el turismo de la costa con nuevos alicientes. Sabes bien que esos azudes matarán al río, porque la esencia de un río es el fluir, y violarán el derecho fundamental de quienes queremos disfrutar de ese reducto de vida, magia y naturaleza.

Si el pueblo catalán supiera el valor de ese espacio, conservado como hoy está, lo convertiría en un elemento de orgullo e identidad, y no toleraría semejante asalto. Hoy el tramo de río que va desde Flix hasta el mar, esos casi 120 km. finales del Ebro, es una joya para el recreo y la contemplación; si no existiera, habría quien estaría ya tratando un mega proyecto que lo justificara y lo creara, a costa de inversiones millonarias. Tiene el estigma aún no resuelto de los vertidos químicos ocultos bajo el embalse de Flix, pero el aspecto de las aguas, su transparencia es sorprendente. Hoy, el destino de ese espacio es ser, cuando menos, lo que ahora es. Lo contrario -lo digo desde mi radicalidad- es vandalismo y violación de derechos fundamentales

Soy de la firme y experimentada opinión de que los ríos son todavía unos desconocidos. Llevamos décadas sólo viendo en ellos un recurso a explotar: aguas para regar, corrientes para evacuar desechos, materia para refrigerar, energía motriz para la generación de electricidad, o espacios marginales que ocupar. Apenas hemos aprendido a verlos de otra manera. Siempre lo hemos hecho desde las orillas o desde los puentes, y a través de cifras de caudales, hidrogramas y balances. Sin embargo, un río es mucho más que eso.

Pienso que un río como el tramo final del Ebro, aguas abajo de Flix, sólo puede ser valorado en lo que es y representa, en lo que significa como derecho de las generaciones a poder disfrutarlo, cuando es contemplado desde dentro, desde el discurrir de una piragua. Suelo decir que no puede hablar del amor quien nunca ha estado enamorado, del mismo modo que no puede hablar de la bondad quien no la ha sentido en su alma, ni de ternura quien no la ha practicado jamás. La mayoría de los planificadores ignoran la dimensión plural y profunda de un río, de lo que es y significa. De los ríos he dicho en muchas ocasiones que son nuestros espejos; si contemplamos su estado podemos ver reflejado lo que somos.

Hoy ese espacio fluvial lo conozco mejor que la palma de mi mano; he llevado a disfrutarlo a cientos y cientos de personas; las reacciones de sorpresa ante tamaña oferta de bienestar y ante las sensaciones sublimes que despiertan en nosotros, se han repetido en cada ocasión, hasta el punto que me ha llevada a bautizarlo como la *Ruta de la Fluviofelicidad*; es el tramo más hermoso para el disfrute desde una piragua de toda la Península Ibérica. Mi larga experiencia en el tema me permite afirmar que el potencial de desarrollo económico de los pueblos ribereños de les *Terres de l'Ebre*, conservando las esencias de su personalidad y desde el paradigma tantas veces mencionado de la sostenibilidad, es insondable. Ese tramo de río es el eje en torno al cual puede llegar a pivotar un día una verdadera forma de desarrollo, como lo pueda ser hoy el Noguera Pallaresa en la zona de Sort a Llavorsí, sin apenas inversiones significativas.

Permitir que en ese tramo el flujo de embarcaciones a motor, motos de agua y demás máquinas de generar ruidos, molestando a las aves y a los piragüistas actuales y potenciales, que empiezan a ser decenas de miles cada año, sigo creyendo que sería un abuso intolerable. La paz de la que hoy pueden gozar quienes se acercan a disfrutar de ese espacio sólo puede ser destruida desde la ceguera de un mal entendido progreso, capaz de cometer semejante torpeza y tamaño abuso.

Haré lo posible, amigo Josep Maria, para que un día vengas a conocer desde dentro ese tramo del Ebro, ahora amenazado por sutiles proyectos sobre los que tendrás que informar. Después hablaremos. Hablaremos de valores, de identidades, de calidad de vida y de un sentido auténtico del concepto de progreso. Ha llegado un momento en el que todo lo que sea conservar el medio natural es progresar, y todo lo que sea asaltarlo, disfuncionarlo, degradarlo y restarle poder evocador, es retroceder. Hablaremos de esos derechos de las generaciones venideras frente al oportunismo coyuntural de unos pocos. Y hablaremos también de responsabilidades.

* * *

Para acabar sólo me queda darte la enhorabuena por este libro, y las gracias por los elementos de reflexión que en él nos aportas desde el discurso científico-técnico. Gracias por el compromiso mantenido hasta ahora en la defensa de lo que va quedando de nuestro río; un río que fue camino de cultura y calle mayor de un vasto territorio, al que dio su nombre. Esperemos que no acabe siendo un cadáver hidrológico más de la barbarie disfrazada de progreso, porque ese día, no sólo les *Terres de l'Ebre* habrán perdido un elemento sustancial de su propia identidad, sino

que todos nos habremos empobrecido, porque cuando un patrimonio de naturaleza y cultura, de oferta de bienestar, de belleza natural y de disfrute lúdico... es destruido sin necesidad, los afectados somos todos. Yo soy un afectado, como lo son mis hijos y lo serán un día los suyos, mis nietos. ¿Qué escenario de la vida les estamos dejando?

Gracias, finalmente, por la oportunidad que me has brindado de hacer este discurso, porque allá donde vaya tu libro, con él irá también este prólogo a tu propio discurso.

Fco. Javier Martínez Gil
Fundación Nueva Cultura del Agua
Catedrático de Hidrogeología
Universidad de Zaragoza



EL CAUDAL MÍNIMO MEDIOAMBIENTAL DEL TRAMO INFERIOR DEL RÍO EBRO

RESUMEN

La idea de mantener unos caudales mínimos en los ríos no resulta absolutamente nueva. En el siglo XIX, por ejemplo, se llegó a fijar por tramos la anchura normal de las aguas medias de los ríos del norte de Alemania, continuando por la regulación de las aguas bajas, por lo que se recomendaba referir las profundidades y las anchuras de las aguas bajas que se tenían que respetar al nivel del estiaje medio, es decir, a la media de los niveles más bajos del verano observados durante un dilatado periodo de tiempo. En subsuelo de roca, las secciones transversales normales resultaban de la profundidad y de la anchura del cauce navegable, pero en los tramos de río móviles formados por materiales sueltos, o bien cuando se intentaba variar la sección transversal para mejorar las condiciones del río, tenían que fijarse aquellos parámetros de modo que, además de la profundidad deseada, se obtuviera también la anchura exigible.

Posteriormente, se establece el principio de que parte del agua disponible se tiene que destinar a asegurar el mantenimiento de un cierto "caudal ecológico mínimo" en los ríos, que asegure la permanencia de la biota preexistente, sin deterioro ambiental. Esto significa, por un lado, que las obras o infraestructuras de regulación y derivación de caudales tendrán que garantizar un caudal remanente en el río aguas abajo de las mismas, y por otro lado, que una parte de este remanente no tendrá otra utilización y constituirá por sí mismo una demanda de agua. O sea, que la parte de esta demanda ambiental que no esté incluida en las demandas existentes o consolidadas se deberá cubrir adicionalmente en base a las prioridades de uso que, en nuestro caso, el Plan hidrológico de la cuenca del Ebro señale para este tramo del río.

En el caso del delta del Ebro, espacio natural de extraordinario interés ecológico nacional e internacional, el denominado "caudal de compensación" previsto en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro de 100 m³/seg., resulta insuficiente y se fijó en su día de un modo aleatorio e injustificado. Tal como ya se señala en el estudio que presentamos, que emplea una metodología novedosa, este caudal no debería ser inferior a los 273 m³/seg. en caudal ficticio continuo aguas abajo del azud de Xerta-Tivenys o bien 326 m³/seg. aguas arriba de dicho punto, distribuyéndose a lo largo del año de acuerdo al hidrograma natural de los caudales.

EL CABAL MÍNIM MEDIAMBIENTAL DEL TRAM INFERIOR DEL RIU EBRE

RESUM

La idea de mantenir uns cabals mínims en els rius no resulta absolutament nova. En el segle XIX, per exemple, es va arribar a fixar per trams la amplària normal de las aigües mitjanes dels rius del nord d'Alemanya, continuant per la regulació de les aigües baixes, i es recomanava referir les profunditats i les amplàries de les aigües baixes que es tenien que respectar al nivell del estiuatge mitjà, és a dir, a la mitjana dels nivells més baixos de l'estiu observats durant un dilatat període de temps. En subsòl de roca, les seccions transversals normals resultaven de la profunditat i de l'amplària de la llera navegable, però en els trams de riu mòbils formats per materials solts, o bé quan s'intentava variar la secció transversal per tal de millorar les condicions del riu, tenien que fixar-se aquells paràmetres de mode que, a més de la profunditat desitjada, s'obtingués també l'amplària exigible.

Posteriorment, s'estableix el principi de què part de l'aigua disponible es te que destinar a assegurar el manteniment d'un cert "cabal ecològic mínim" en els rius, que assegurés la permanència de la biota preexistent, sense deteriorament ambiental. Això significa, per un costat, que les obres o infraestructures de regulació i derivació de cabals hauran de garantir un cabal romanent al riu aigües avall de les mateixes, i per altre costat, que una part d'aquest romanent no tindrà altra utilització i constituirà per sí mateix una demanda d'aigua. O sigui, que la part d'aquesta demanda ambiental que no estigui inclosa en les demandes existents o consolidades s'haurà de cobrir addicionalment en base a les prioritats d'ús que, en el seu cas, al Pla hidrològic corresponent assenyali per a aquest tram del riu.

En el cas del delta de l'Ebre, espai natural d'extraordinari interès ecològic nacional i internacional, el denominat "cabal de compensació" previst en el Pla Hidrològic de la Conca de l'Ebre de 100 m³/seg., resulta insuficient i es va fixar en el seu dia de mode aleatori i injustificat. Tal com ja s'ha assenyalat en l'estudi que presentem, que empra una metodologia original, aquest cabal no hauria d'ésser inferior als 273 m³/seg. en cabal fictici continu aigües avall de l'assut de Xerta-Tivenys o bé 326 m³/seg. aigües amunt d'aquest lloc, distribuint-se al llarg de l'any d'acord a l'hidrograma natural dels cabals.

THE MINIMUM ENVIRONMENTAL VOLUME (FLOW) OF WATER IN THE FINAL SECTION OF THE EBRO RIVER

ABSTRACT / SUMMARY

The idea of maintaining minimum flow rates in rivers is not absolutely new. In the 19th century, for example, the normal width of water flow for the northern German rivers were fixed by stretches in their middle sections, regulated in downstream sections, and the depth and width of the final section ought to be under the medium summer level, a volume of water obtained as the average of the lower values within a longer period of time. With rocky sub soils the normal transversal sections were worked out from the depth and the width of the navigable bed river, but in sections with either a soil of loose materials or a need to improve the river conditions, values should to be adjusted in order to get, at the same time, the wanted depth and width of water.

Later on, the criterion that part of the available water has to be destined to guarantee a “minimum ecological volume” in rivers to secure the stable presence of the environmental biota was established as a principle. This means, on one hand, that the infrastructures for the regulation and derivation of flow rates will have to guarantee a residual flow of downstream water and, on the other, that a part of this surplus will not have any other use and it will constitute a demand for water by itself. In the case of the Ebro river, this would imply that the part of this environmental demand not included in existing or consolidated demands will have to be additionally met following the priorities of use established by the Ebro Basin Law (Plan) for this section of the river.

In the case of the Ebro delta, a natural reserve of extraordinary national and international ecological interest, the so called “compensation volume” of 100 m³/sec. foreseen in the Ebro Basin Law (Plan) is insufficient, and was fixed in an at random and unjustified way. As we indicate in our study, using a new methodology, that volume should never be lower than 273 m³/sec. in a fictitious continuous flow rate, downstream to the Xerta-Tivenys irrigation dam, or 326 m³/sec. upstream of this place, and with a distribution round the year according to the natural hydrograph of flow rates.

LE DÉBIT MINIME ENVIRONNEMENTAL DU STRETCH BAS DE LA FLEUVE EBRE

RÉSUMÉ

L'idée du maintien de débits minimaux dans les cours d'eau n'est pas entièrement nouveau. Au XIX^e siècle, par exemple, est venu de fixer la largeur s'étend de la moyenne normale des eaux dans le nord de l'Allemagne, passant par la réglementation de l'eau, ils ont recommandé, afin de renvoyer les profondeurs et largeurs les eaux qui sont nécessaires pour observer le niveau de la sécheresse, c'est-à-dire, la moyenne des plus bas niveaux observés au cours de l'été un long moment. En sous-sol rocheux, les sections transversaux normales ont été approfondies et de la largeur du chenal navigable, mais les tronçons de cours d'eau mobiles formées par des matériaux libérées, ou en essayant de modifier la section transversale pour améliorer les conditions de la rivière, a ces paramètres à définir, afin que, en plus de la profondeur, la largeur a été également obtenu raison.

Ensuite, il établit le principe que l'eau doit être disponible pour le maintien d'un certain "minimum écologique débit des rivières, ce qui assure la continuité de l'existant biote, sans dégradation de l'environnement. Cela signifie, premièrement, que les travaux ou de l'infrastructure réglementaire et le détournement de l'écoulement de l'eau devra assurer un équilibre dans la rivière en aval d'eux, et en outre, que certains de ces surplus ne sont pas l'utilisation et sera elle-même une demande pour l'eau. C'est la partie environnementale de cette demande n'est pas incluse dans les revendications doivent être couverts ou base consolidée en outre les priorités d'usage, dans notre cas, le plan hydrologique du bassin de l'Ebre à cette section rivière.

Dans le cas de le delta de l'Èbre, site écologique d'intérêt national et international, ce qu'on appelle le "débit de compensation" dans le plan hydrologique de l'Èbre, 100 m³/seg. est insuffisante et a été en son temps hasard et injustifiée. Comme indiqué dans la présente étude, qui utilise une nouvelle méthodologie, cette capacité ne devrait pas être inférieure à 273 m³/seg. fictif en flux continu en aval du barrage-Xerta Tivenys ou 326 m³/seg. en amont de cette section, répartis dans l'ensemble de l'année en fonction de l'hydrogramme naturel des débits.

CAPÍTULO 1

DEFINICIONES Y CONCEPTOS PREVIOS

1. LA CONSERVACIÓN ECOLÓGICA DE LOS RÍOS

Los ríos, en general, suponen una pieza clave en el desarrollo del ciclo hidrológico, al constituir corrientes de agua cuya captación se produce por medio de la precipitación atmosférica, la filtración en el terreno de las aguas superficiales y la descarga de los acuíferos.

En nuestro caso, la cuenca del río Ebro es la más grande de España, abarcando unos 85.000 km². Pero los ríos no sólo son corrientes de agua, sino que además implican la existencia de valiosos ecosistemas cuya importancia no reside sólo en la variedad y la cantidad de especies que viven en ellos sino también en el cometido que representan en la conservación de la calidad de un recurso natural caro y escaso: el agua. Pues bien, estos ecosistemas se ven alterados por los efectos de la regulación de los ríos, ya que al variar el régimen de caudales se pueden producir substituciones importantes en las comunidades biológicas afectadas.

Actualmente, la mayor parte de nuestros ríos están suficientemente regulados al objeto de satisfacer las diferentes demandas de agua (fundamentalmente para usos urbanos, industriales, agrarios y recreativos), razón por la que se ha modificado notoriamente su régimen de caudal natural, produciéndose alteraciones importantes en el medio. En general, y teniendo en cuenta exclusivamente las alteraciones en el régimen de caudal, los usos del agua producen una reducción del volumen del caudal circulante y, a veces, dependiendo del régimen de explotación, modifican de manera más o menos importante las variaciones estacionales características del río (crecidas y estiajes). Estas alteraciones producen inevitablemente cambios substanciales en la vida acuática y en la flora y fauna de las riberas. Así, se plantea un conflicto entre la explotación del recurso “agua” para diferentes usos y la conservación, más o menos cuidadosa, del medio natural. **Pues bien, mediante la asignación del denominado “caudal ecológico” se pretende conseguir un consenso entre estas dos necesidades del hombre (explotación y conservación de los cursos de agua) como medida de conservación del medio acuático frente a las agresiones procedentes de los sistemas de explotación de las aguas continentales.** Con respecto al concepto de “caudal ecológico” se recomienda la consulta del anexo 5 de nuestro trabajo.

De hecho, gran parte de los ríos de la Península Ibérica tienen, o bien han tenido en el pasado, un régimen de caudales torrencial, con grandes fluctuaciones estacionales como respuesta al régimen de precipitaciones propio del área mediterránea. Estas circunstancias, que también podemos asimilar históricamente al comportamiento del río Ebro en su tramo inferior, han originado un funcionamiento del ecosistema fluvial adaptado a fuertes variaciones del caudal, especialmente en los pequeños afluentes y subafluentes, desde las crecidas primaverales a los estiajes. En especial, las especies zoológicas que habitan estas aguas manifiestan una estrategia vital muy adaptada a estas fluctuaciones temporales mediante modificaciones en sus ciclos biológicos, realizando migraciones o bien desarrollando formas resistentes, principalmente.

Asimismo, durante las últimas décadas la actividad humana ha venido regulando los caudales circulantes por los ríos mediante la construcción de presas o bien proyectando trasvases (el Plan Hidrológico Nacional del año 2001 era un buen ejemplo de ello) con los que ha eliminado buena parte de su irregularidad en el tiempo y en el espacio, a veces de modo tan traumático que, en muchos casos, se ha modificado completamente la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema fluvial. A inicios del año 1986, había construidas 925 grandes presas en España, con una capacidad de almacenamiento de casi 44.080 hm³, utilizados en un 57 % para la producción hidroeléctrica, 29 % para riego, 12 % para abastecimientos urbanos y industriales y el 2 % restante para otros usos (GARCÍA DE JALÓN, 1987).

La regulación artificial de caudales a la que nos referíamos antes afecta profundamente a la fauna reófila, no sólo por la intensidad de las fluctuaciones que provoca (algunas de ellas mucho más dramáticas que la torrencialidad natural), sino también por el desfase temporal con que se producen. Las especies acuáticas de nuestros ríos, a lo largo de su evolución histórica, se han adaptado a la sequía estival y a las crecidas estacionales, pero no soportan fácilmente las variaciones de caudal que provocan los embalses hidroeléctricos aguas debajo de los mismos, consistentes en la emisión de grandes caudales durante el día y pequeños caudales durante la noche y los fines de semana. Estas especies reófilas tampoco están adaptadas a los abundantes caudales de aguas frías para regadío que sueltan los embalses durante toda la estación seca, cuando las aguas de manera natural deberían ser más cálidas.

Pero el impacto más grande que padece la fauna acuática como consecuencia de la regulación de los caudales se produce, sin duda, cuando los ríos se quedan sin agua suficiente en su cauce, durante ciertos días, semanas o meses, por el cierre de las compuertas de los embalses o por el trasvase de sus aguas a otras cuencas hidrográficas.

Cabe decir, al respecto, que, desgraciadamente, el Plan Hidrológico Nacional del 2001 pretendía, aún más, la potenciación de estas peligrosas obras. En cualquier caso, dicho Plan fue modificado por la Ley 11/2005, de 22 de junio, BOE nº: 149 del 23/06/05, pág. 21.846 y ss., a resultas de la cual los trasvases inicialmente previstos desde el Bajo Ebro hacia el norte (190 hm³/año a las cuencas internas de Cataluña, antiguas cuencas del Pirineo Oriental) y hacia el sur (860 hm³/año a las cuencas hidrográficas del Júcar, Segura y Almería-Sur) fueron anulados.

Teóricamente, estos hechos negativos sobre el medio natural no tendrían que suceder nunca en España, ya que las autoridades hidráulicas aseguran una circulación permanente por los cauces regulados, de una “caudal ecológico” consistente, como mínimo, en el 10 % de las aportaciones naturales anuales medias de aquellos cauces (DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS, 1980). Pero la realidad es muy diferente, ya que, durante largos periodos de tiempo, aguas abajo de las grandes presas no circula suficiente volumen de agua, al tener tanto las empresas hidroeléctricas como las comunidades de regantes o los consorcios para el abastecimiento de agua a poblaciones y/o industrias unas concesiones de aprovechamiento hidráulico muy antiguas cuyas condiciones permiten, si bien no *de iure* sí *de facto*, una gran libertad de actuación, circunstancia ésta que aprovechan para atender prioritariamente sus propios intereses.

2. LA VIDA PISCÍCOLA Y EL EQUILIBRIO ECOLÓGICO

Las bacterias y el fitoplancton de las aguas dulces tienen una gran importancia en el proceso de autodepuración de los ríos y de los lagos. Todas las materias orgánicas procedentes de las aguas residuales vertidas, así como los residuos de las materias muertas procedentes de la fauna y la flora son descompuestas por los microorganismos con la ayuda del oxígeno disuelto en el agua que los transforma en materias minerales, que a su vez son asimilables por las algas que crecen en él, actuando como verdaderas máquinas reoxigenadoras del agua.

Los peces herbívoros tienen un cometido muy importante en el equilibrio del ecosistema, ya que el fitoplancton excedente sirve de alimento a los mismos e impide así la muerte y putrefacción de la flora acuática, con el pertinente consumo del oxígeno disuelto en el agua. Por eso queda suficientemente justificada la asociación entre los caudales ecológicos y la vida piscícola en la que se apoyan algunas formulaciones tendentes a fijar o evaluar los citados caudales, tal como tendremos ocasión de comprobar en otros apartados del presente estudio.

Ahora bien, toda autodepuración tiene un límite, porque los vertidos de las aguas domésticas, agrícolas e industriales aportan

grandes cantidades de elementos contaminantes y también de otros que, sin serlo (como el fósforo, el potasio, el nitrógeno, los oligoelementos y las vitaminas), sirven como nutrientes de las algas que se desarrollan exageradamente, y al no poder ser consumidas mueren, provocando como consecuencia la desaparición de los mismos peces.

Los peces son, por lo tanto, los mejores guardianes que tienen las aguas, ya que son también los primeros seres vivos que notan los síntomas de intoxicación. Algunos se alimentan de hierbas, otros se caracterizan por consumir las algas desarrolladas en exceso, y tampoco faltan especies detritívoras, que se aprovechan de los detritus (*Cirrhina molitorella*), sin olvidar las citadas carpas zooplanctonófagas y fitoplanctonófagas (*Aristichthys nobilis*, *Hypophthalmichthys molitrix*).

El equilibrio ecológico se alcanza, precisamente, escogiendo aquellas especies más convenientes para cada ecosistema. Es muy conocido el efecto nocivo que producen los abonos químicos empleados en la agricultura que se filtran en la capa freática, aportando al agua un exceso de fósforo, potasio y nitrógeno que se mide por toneladas. Más importante aún es la influencia que tienen los vertidos de aguas residuales en los ríos y en los embalses. Pero cuando estas operaciones se realizan de modo controlado no sólo no son perjudiciales, sino que sirven como nutriente del que se alimentan gratuitamente nuestros peces. Digamos, simplemente como orientación, que los efluentes domésticos y los fertilizantes agrícolas representan la aportación de 50 toneladas de nitrógeno y 100 toneladas de fósforo anuales en un embalse medio.

Ante estas cifras, no se puede pretender imputar el peligro de eutrofización de las aguas a los peces que viven en ellas, si además consideramos que el efecto nocivo de las deyecciones de elevadas concentraciones de peces se diluye con gran rapidez debido a las corrientes existentes en los embalses, y ello no supone ningún peligro para el equilibrio ecológico, si se toman las medidas necesarias que limiten las densidades de las citadas concentraciones piscícolas por causas artificiales (como, por ejemplo, un cultivo piscícola intensivo).

3. LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

Pero al hablar de la vida piscícola tendríamos que aclarar algunos conceptos relacionados con la casuística de la contaminación de las aguas. Ésta resulta consecuencia de la creación, cada vez más numerosa, de fábricas que vierten en los ríos y del crecimiento de núcleos urbanos cuyas aguas residuales -con frecuencia no depuradas- llegan a los cauces de los ríos, así como las procedentes de la filtración y la lixiviación de los terrenos agrícolas que arrastran las sustancias

químicas diversas (inorgánicas y orgánicas), como los restos de fertilizantes y pesticidas (acaricidas, herbicidas, insecticidas, nematocidas, funguicidas...).

Todo eso conlleva un cambio en la flora y la fauna acuáticas, así como la aparición, cada vez más frecuente, de ciertas sustancias que no se diluyen ni desaparecen a corto plazo. Es el caso de los metales pesados como el mercurio, que son absorbidos por la fauna acuática y que después puede asimilar el ser humano al alimentarse de peces, o bien de los compuestos químicos organoclorados procedentes de los insecticidas, que tienen el inconveniente de no ser fácilmente biodegradables, y otras materias varias en suspensión que comprenden desde los elementos minerales hasta las materias orgánicas y los residuos urbanos, así como las tierras arrastradas por la erosión hidráulica procedentes de las parcelas mal cultivadas. Todos ellos contaminan frecuentemente la mayoría de nuestras aguas.

Para que tenga lugar la descomposición de las sustancias orgánicas por los microorganismos presentes en el agua se necesita un mayor consumo de oxígeno diluido (DBO, demanda bioquímica de oxígeno). Esta oxidación de la materia orgánica supone una mayor demanda de oxígeno, y cuando la concentración de este elemento disminuye el agua alcanza, entonces, menor poder biodegradable. De hecho la biodegradabilidad de una sustancia cualquiera se mide por su aptitud para dejarse descomponer por los microorganismos y los hongos. La inmensa mayoría de las materias posee esta disposición. Otras en cambio, como la lignina, lo hacen muy lentamente en forma de residuos estables ("humus"). Las procedentes de productos químicos o minerales, como el plomo y el mercurio, no son biodegradables y se acumulan en cantidades que pueden llegar a ser altamente peligrosas para la salud humana.

Como consecuencia de toda esta polución surge la contaminación en las capas freáticas, en las aguas subterráneas, en los pozos, en los ríos, y se puede llegar a una eutrofización de la mayoría de las aguas continentales. Un lago o un río eutrófico significa que tiene un exceso de residuos orgánicos en las aguas, abundancia de elementos fertilizantes (fundamentalmente nitrógeno y fósforo) o bien residuos procedentes de zonas urbanas. Este exceso de nutrientes es la causa de que se desarrollen exageradamente los vegetales acuáticos, con el consiguiente consumo de oxígeno del agua debido a la oxidación de aquellos cuando mueren y se pudren en el fondo del cauce del río o del lecho de un lago.

Ciertas algas que crecen en aguas eutrofizadas son tóxicas. De este modo, dentro del grupo de las cianofíceas hay que ver que la *Microcystis aeruginosa* desarrolla polipéptidos cíclicos que son muy

tóxicos para el ganado. Con el fin de evitar la eutrofización es necesario depurar las aguas residuales y eliminar los residuos de los fertilizantes, fundamentalmente fósforo y nitrógeno. Para conseguirlo, el procedimiento más útil consiste en añadir sales de hierro y aluminio formándose de este modo los fosfatos que precipitan. También se puede emplear la cal si la hacemos intervenir en el proceso de depuración cuando los compuestos nitrogenados se encuentran en estado amoniacal, liberándose el amoníaco y precipitando los fosfatos. Un método biológico muy interesante consiste en la eliminación de los fertilizantes con la ayuda de algas que absorben el fósforo y el nitrógeno del efluente, siempre y cuando éste sea tratado en lagunas de poca profundidad.

4. LA CALIDAD DE LAS AGUAS Y LA ORDENACIÓN DE VERTIDOS

4.1. Introducción

A estos efectos, y como ya se había anunciado en ediciones anteriores, también el futuro Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, atendiendo a lo establecido en su día en el documento “Criterios y Recomendaciones relativas al Proyecto de Directrices”, deberá elaborar un programa de calidad del agua que habrá de contemplar y recoger, con el grado de conocimiento que en cada momento sea posible, los siguientes aspectos:

- Diagnóstico de la situación actual.
- Objetivos de calidad.
- Medidas y acciones correctoras.
- Plan de control.

El programa incluirá, a todos los efectos en general, los canales o conducciones cuyo caudal sea superior al límite que establezca el propio Plan, o bien que por su trascendencia ambiental o significado histórico se decida incluirlos en el programa, las unidades hidrogeológicas y los acuíferos menores y las masas de agua libre.

El organismo de Cuenca realizó en su día un estudio de “Definición de los objetivos de calidad en función de los usos para las aguas superficiales para la cuenca del Ebro” así como el “Estudio para la definición de la red de control de calidad para las aguas subterráneas de la cuenca del Ebro”, ambos de gran interés para atender este capítulo en el marco del Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro.

4.2. Los diferentes índices de calidad biológicos

Desde el punto de vista biológico suele interesar clasificar las aguas según el tipo y la cantidad de microorganismos presentes o bien aplicar índices bióticos, como el BMWP', o índices de diversidad que indican la riqueza ecológica de ese tramo del río. Hay modelos, como el SCAF, que determinan el tipo de "ambiente ecológico" de la estación analizada, lo que permite hacer estudios de comparación o determinar qué impactos negativos sobre el ecosistema pueden estar afectando a la calidad del río.

El Índice biótico BMWP' (*Biological Monitoring Working Party*) de Hellawell fue modificado por Alba & Sánchez para la Península Ibérica. Con él se determina un índice que suele tener valores entre 0 y un máximo indeterminado que, en la práctica, no suele superar el valor 200. Según el índice en cuestión, se establecen seis clases de calidad del agua, relacionadas a continuación.

Clase	Valor del índice	Significado	Color
I	> 120	Aguas muy limpias. Buena calidad	Azul
II	101-120	Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible. Calidad aceptable	Azul
III	61-100	Resultan evidentes algunos efectos de contaminación	Verde
IV	36-60	Aguas contaminadas. Mala calidad	Amarillo
V	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Tabla 1. Valores del índice biótico BMWP'.

El modelo SCAF se basa en la teoría de la sucesión ecológica. Determina el estado ambiental, combinando los índices de diversidad y el índice biótico BMWP'. Con este modelo se determinan los distintos tipos de estado ambiental del ecosistema. A cada tipo le corresponderán, a su vez, unos usos potenciales, a saber:

Clase ambiental	Características	Usos potenciales
E1 (ambiente muy duro) Color rojo	Inmadurez extrema Aguas muy contaminadas	Aguas inutilizables (A4) No óptimos para salmónidos y ciprínidos
E2 (ambiente duro) Color marrón	Madurez baja Aguas contaminadas	Potabilizable con tratamiento intensivo (A3) No óptimos para salmónidos y ciprínidos
E3 (ambiente fluctuante) Color amarillo	Madurez media Eutrofización	Potabilizables con tratamiento normal y desinfección (A2) Óptima para ciprínidos. Riego

Clase ambiental	Características	Usos potenciales
E4 (ambiente estable) Color azul	Madurez notable Aguas limpias	Tratamiento físico simple y desinfección (A1) Recreativo. Baño Óptima para salmónidos y ciprínidos
E5 (ambiente maduro) Color verde	Madurez plena y ambiente muy heterogéneo Aguas ligomesotróficas	Todos los usos Óptima para salmónidos y ciprínidos

Tabla 2. Modelo SCAF para la calidad del agua.

4.3. Otros índices de calidad del agua

Podemos citar, como más representativos, los siguientes:

a) Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H). Se basa en la teoría de la información y se mide en bits/individuo cuando la escala logarítmica usada es la base 2. El valor máximo que adquiere en los ríos, para las comunidades de invertebrados bénticos, es de 4,5. Valores inferiores a 2,4 - 2,5 indican que el sistema está sometido a tensión (vertidos, dragados, canalizaciones, regulación por embalses, etc.). Es un índice que disminuye mucho en aguas muy contaminadas.

b) Índice de diversidad de Simpson-Gini (Y). Expresa la probabilidad compuesta o producto de que dos individuos extraídos al azar de una comunidad pertenecen a la misma especie. Si dicha probabilidad es alta, la comunidad es poco diversa.

c) Índice de diversidad de McIntosh. Trabaja los tamaños de las poblaciones de los distintos taxones, indicando la dominancia de alguno o algunos de ellos.

d) Índice de Berger-Parker (B). Mide la dominancia del taxón más abundante.

Hay que tener en cuenta, en definitiva, que la mayor parte de los índices de calidad propuestos para la estimación de la diversidad tienen una base meramente empírica. En su momento Hill, en la década de los 70 del siglo XX, y más recientemente Bordá de Água y colaboradores de la Universidad de Georgia en Athens, en el año 2002, han descubierto nuevas vías para relacionar distintos índices por procedimientos matemáticos.

4.4. Redes de vigilancia de calidad de las aguas superficiales

Las redes de control de la calidad de los ríos y lagos constituyen sistemas de vigilar la calidad de las aguas y el estado ambiental de los ríos. Con ellas se pueden detectar las agresiones que sufren los ecosistemas fluviales y se recoge información de tipo ambiental, científico y económico sobre los recursos hídricos.

La evaluación de la calidad de las aguas es una materia difícil, en la que se discute cuáles son los mejores indicadores para evaluar el estado del agua. El problema reside fundamentalmente en la definición que se haga del concepto "calidad del agua". Se puede entender la calidad como "la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella". O bien, tal como la define la Directiva Marco del Agua¹, como "aquellas condiciones que deben mantenerse en el agua para que ésta posea un ecosistema equilibrado y que cumpla unos determinados Objetivos de Calidad que están fijados en los Planes Hidrológicos de Cuenca".

¹ La **Directiva Marco del Agua** (DMA, 2000/60) es una norma del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea por la que se establece un marco de actuación comunitario en el ámbito de la política de aguas. En España fue transpuesta al marco legislativo estatal a través de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre de 2000, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, que modificó el Texto Refundido de la Ley de Aguas. El objeto de dicha Directiva es el de establecer un marco para la protección de las aguas continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas con los objetivos siguientes:

- La prevención del deterioro adicional y la protección y mejora de los ecosistemas acuáticos, así como de los ecosistemas terrestres dependientes.
- La promoción de los usos sostenibles del agua.
- La protección y mejora del medio acuático.
- La reducción de la contaminación de las aguas subterráneas.
- La paliación de los efectos de inundaciones y sequías.

En España esta red de control se denomina Red ICA (Red Integrada de Calidad de las Aguas) que desde el año 1992 recoge los datos obtenidos en las distintas redes existentes en ese momento, como son la Red COCA (Control de Calidad General de las Aguas), la Red COAS (Control Oficial de Abastecimientos) y la Red ICTIOFAUNA que controla la aptitud del agua para la vida piscícola.

Para saber en qué condiciones se encuentra un río se analizan una serie de parámetros de tipo físico, otros de tipo químico y otros biológicos y después se comparan estos datos con unos baremos aceptados internacionalmente que nos indicarán la calidad de ese agua para los distintos usos: para consumo, para la vida de los peces, para baño y actividades recreativas, etc.

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos se suelen muestrear mensualmente, mientras que el estudio biológico de las riberas y el lecho del río se suele hacer más esporádicamente, como por ejemplo dos veces al año, una en primavera y otra en verano.

4.5. Parámetros que se estudian en una red típica

Son los siguientes:

Parámetros controlados por la red COCA			
GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
Caudal (Q)	Sólidos disueltos	Sílice (Si^{4+})	Arsénico (As^{3+} , As^{5+})
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Cloruros (Cl^{-})	Grasas	Cobre (Cu^{+} , Cu^{++})
Oxígeno disuelto (O_2)	Sulfatos (SO_4^{-})	Cianuros (CN^{-})	Hierro (Fe^{++} , Fe^{3+})
Sólidos en suspensión (ppm)	Calcio (Ca^{++})	Fenoles ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$)	Manganeso (Mn^{+++})
PH	Magnesio (Mg^{++})	Fluoruros (F^{-})	Plomo (Pb^{++} , Pb^{4+})
Conductividad eléctrica (CE)	Sodio (Na^{+})	Cadmio (Cd^{++})	Cinc (Zn^{++})
DQO al permanganato	Potasio (K^{+})	Cloro hexavalente	Antimonio (Sb^{3+} , Sb^{5+})
DBO_5	Fosfatos (P_2O_6^{-})	Mercurio (Hg^{+} , Hg^{++})	Níquel (Ni^{++} , Ni^{3+})
Coliformes Totales	Nitratos (NO_3^{-})		Selenio (Se^{++} , Se^{4+} , Se^{6+})
	Nitritos (NO_2^{-})		
	Amoníaco (NH_3)		
	Carbonatos (CO_3^{-})		
	Bicarbonatos (CO_3H^{-})		
	Detergentes		

NOTA: Los distintos grupos expuestos hacen referencia a la periodicidad con que se muestrean. Los del grupo A siempre lo hacen mensualmente, mientras que los de los restantes grupos pueden ser mensuales, trimestrales o anuales.

Tabla 3. Parámetros controlados por la red COCA.

Parámetros microbiológicos		
Coliformes totales	Estreptococos fecales	Coliformes fecales
Parámetros bióticos		
Invertebrados bénticos (meses de mayo y agosto)	Peces, anfibios, cangrejos, etc. (meses de mayo y agosto)	

Tabla 4. Parámetros microbiológicos y bióticos.

4.6. Toma de muestras en el río

Para tomar las muestras pertinentes y hacer las determinaciones analíticas conviene seguir, en todo momento, las indicaciones del *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. En estas recomendaciones se dice que hay que realizar la recogida de muestras después de haber lavado el envase varias veces. Hay que dar un pretratamiento a las muestras añadiendo ácido nítrico, sulfúrico o hidróxido sódico, según los casos, y trasladarlas rápidamente (8 horas en la situación más desfavorable) al laboratorio en el que se vayan a analizar. Las muestras para los análisis microbiológicos se deben recoger en envases adecuados y estériles.

La toma de invertebrados se suele hacer con redes de mano de tipo *Kick*, tomando muestras en medio del río, en zonas de corriente y no en las orillas. Las muestras se lavan y recogen en un frasco con formol al 4%. En el laboratorio se fijan con alcohol al 70%. Se clasifican las muestras al menos hasta el nivel de taxón (especie, género, familia, etc.) exigido por los índices bióticos.

Los peces se capturan con un aparato de pesca eléctrico. Se identifican, se cuentan y se devuelven las especies al río. Lo mismo se hace con los anfibios (vertebrados), cangrejos (crustáceos), etc.

4.7. Clasificación de la calidad de las aguas

Hay muchos sistemas de clasificar la calidad de las aguas. En primer lugar se suele distinguir según el uso que se le vaya a dar (abastecimiento humano, recreativo, vida acuática).

Hay directivas comunitarias que definen los límites que deben cumplir un amplio número de variables físicas, químicas y microbiológicas para que pueda ser utilizada para consumo y abastecimiento humano (75/440/CEE), baño y usos recreativos

(76/160/CEE) y vida de los peces (78/659/CEE) y están transpuestas en la legislación española en el R. D. 927/1988 de 29 de julio².

a) Clasificación para consumo humano

Las aguas se clasifican en cuatro grupos (ver cuadro siguiente) según su calidad o aptitud para el consumo humano. Para hacer esta clasificación se usan unos 20 parámetros de los que los más importantes son: DQO, DBO₅, NH₄⁺, NTK (Nitrógeno Total Kjeldahl), conductividad eléctrica (medida de la salinidad), Cl⁻, CN⁻, recuentos microbiológicos y algunos metales pesados (Fe⁺⁺, Fe³⁺, Cu⁺, Cu⁺⁺, Cr⁺⁺, Cr³⁺, Cr⁶⁺). La clasificación resultante es la siguiente:

Tipo	Clasificación de las aguas para consumo humano
A1	Aguas potabilizables con un tratamiento físico simple, como filtración rápida y desinfección.
A2	Aguas potabilizables con un tratamiento fisico-químico normal, como precloración, floculación, decantación, filtración y desinfección.
A3	Aguas potabilizables con un tratamiento adicional a la A2, tales como ozonización o carbón activo.
A4	Aguas no utilizables para el suministro de agua potable, salvo en casos excepcionales, y con un tratamiento intensivo.

Tabla 5. Clasificación de las aguas para el consumo humano.

b) Clasificación para baño y usos deportivos

De forma similar se determina la aptitud de las aguas para el baño y uso deportivo. En este caso hay que fijarse, sobre todo, en los recuentos microbiológicos, el porcentaje de saturación de oxígeno y, en menor medida, en la presencia de aceites y grasas y otros caracteres organolépticos (olor, sabor, color, turbidez, etc.).

² Se trata del Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los Títulos II y III de la Ley de Aguas (BOE nº 209, de 31 de agosto de 1988 (c.e.) BOE nº 234, de 29 de septiembre de 1988).

4.8. Características de calidad por tramos de ríos

La calidad exigible de las aguas superficiales se inferirá a partir del denominado “Índice de Calidad General” (ICG) que es reflejo de la calidad de las aguas y de su aptitud para el uso. Los parámetros esenciales que facilitan el cálculo del expresado índice son los siguientes: coliformes totales, materias en suspensión, conductividad, oxígeno disuelto, DBO₅ y fosfatos. Resulta muy utilizado en todo el territorio del Estado español.

El diagnóstico de la situación actual y los objetivos de calidad en diversos tramos de ríos y canales importantes, se llevará a cabo atendiendo a las recomendaciones de la UE, en términos de categorías de calidad, distribuidas en cinco clases progresivamente menos exigentes, a saber:

- **C1:** Apta para salmónidos y producción de agua potable (podría escogerse esta clase al calcular el caudal ecológico del río Ebro en su tramo final, base III, con un nivel de exigencia elevado, puesto que se abastece al Consorcio de Aguas de Tarragona, que tiene su toma entre los perfiles transversales 19 y 23, ver anexo nº: 5).
- **C2:** Apta para ciprínidos, producción de agua potable, baños y categoría ecológica (base II), que ha sido la que, una vez determinado el caudal medioambiental por los procedimientos propugnados en nuestro estudio, mayormente se asemeja por su cuantía, como puede comprobarse en el apartado correspondiente.
- **C3:** Apta para riego (base I).
- **C4:** Usos mínimos. Riego general y controlado.
- **C5:** No apta para su uso.

La correspondencia entre el correspondiente ICG y las Categorías de Calidad exigidas en función de los usos es la siguiente:

CATEGORÍA	INDICE DE CALIDAD GENERAL (ICG)
C1	100-85 (EXCELENTE)
C2	85-75 (BUENA)
C3	75-65 (REGULAR)
C4	65-50 (DEFICIENTE)
C5	50-0 (MALA)

Tabla 6. Correspondencia entre el ICG y las diferentes categorías de calidad.

El ICG se obtiene matemáticamente a partir de una fórmula de agregación que integra 23 parámetros de calidad de las aguas. Nueve de estos parámetros, que se denominan “básicos”, son necesarios en todos los casos. Otros catorce, que responden al nombre general de

“complementarios”, sólo se usan para aquellas estaciones o períodos en los que se analizan. A partir de formulaciones matemáticas que valoran, a través de ecuaciones lineales, la influencia de cada uno de estos parámetros en el total del índice, se deduce un valor final que se sitúa necesariamente entre los valores 0 y 100, tal como hemos visto en la tabla precedente.

Teniendo en cuenta que, en principio, un índice de calidad general comprendido entre 50 y 0 implica, prácticamente, la imposibilidad de utilizar el agua para ningún uso y que índices por debajo de 65 comprometen gravemente la mayor parte de los usos posibles, la situación no es del todo satisfactoria en muchas de las cuencas hidrográficas españolas, sobre todo en aquéllas en las que las aportaciones naturales en forma de lluvia son más bajas o bien es más alta la influencia de los vertidos industriales o de la contaminación difusa.

Para determinar la aptitud de las aguas para la vida piscícola influye mucho la concentración de nitritos y también el amoníaco no ionizado, que es muy tóxico para los organismos acuáticos, aún a bajas concentraciones; y también, aunque menos, la DBO_5 , ión amonio, hidrocarburos disueltos y metales pesados (Pb^{++} , Pb^{4+} , Cu^+ , Cu^{++} , Zn^{++}) presentes.

Otra posibilidad, en fin, muy utilizada en la medición de la aptitud de las aguas para el riego agrícola, es analizar el nivel de mineralización o salinidad de las aguas por análisis de su **conductividad eléctrica**, expresada normalmente en decisiemens o microsiemens ($\mu\text{mhos/cm.}$), que es la magnitud inversa de la resistividad.

En 1996 la Confederación clasificó las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro en razón de su aptitud para ser destinadas al abastecimiento de población, según los resultados obtenidos en las campañas de muestreo efectuadas en el período 1993-95. Esta clasificación, incluida en el Plan Hidrológico del Ebro, se toma como base para comparar cualquier estado particular observado. Actualmente, la clasificación de las aguas superficiales se encuentra en proceso de revisión técnica, para ser actualizada según los resultados obtenidos en las campañas 1996-1999.

El Plan Hidrológico del Ebro establece los objetivos de calidad para las aguas superficiales, que se pretenden conseguir dentro del plazo de vigencia del nombrado Plan. Desde 1993 se emiten informes mensuales, que recogen los resultados y reflejan las incidencias observadas. Se encuentran disponibles para su visualización o descarga los elaborados desde enero de 1999. Anualmente se condensa la información en otros informes que estudian la evolución de la calidad de los ríos.

En el citado estudio de “Objetivos de calidad en función de los usos para las aguas superficiales de la cuenca del Ebro”, se realizó una estimación de la calidad actual, de la calidad exigida en función de los usos y del objetivo de calidad, para numerosos tramos de los ríos y canales más significativos de la cuenca, siempre en términos de Categorías de calidad.

Como quiera que esta tramificación recoge tan sólo los cauces más importantes, el futuro Plan (que tiene que ser aprobado en diciembre de 2009) debería establecer un programa detallado de actuación, con plazos y costes, para el conocimiento exhaustivo de la aportación de contaminantes a las aguas que incluirá, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Inventario de vertidos localizados y difusos, en los sectores industriales, urbanos, agrícolas, ganaderos, mineros, etc.
- Inventario específico de vertidos con sustancias incluidas en las relaciones I y II anejas al Título III del R.D.P.H. (Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y publicado en el BOE nº: 103 de 30/04/86).
- Evaluación de la carga contaminante actual, discriminada según las diversas áreas geográficas y sectores de actividad.
- Evaluación de la carga contaminante para los horizontes del Plan, a partir de las proyecciones demográficas y de la actividad económica.

El programa anterior debería especificar las disposiciones informáticas y operativas oportunas para el mantenimiento y actualización permanentes del inventario de vertidos y evaluaciones de carga contaminante, de modo que ello pueda realizarse fácil y rápidamente, sin desperdicio del esfuerzo inicial.

El Plan Hidrológico deberá incluir, así mismo, una clasificación de las aguas superficiales de la cuenca de acuerdo con criterios biológicos; a tal efecto se podría adoptar el índice biológico BMWP' (Alba y Sánchez, 1988). Por otra parte, el Plan Hidrológico recogerá los objetivos de calidad en función de los usos actuales y potenciales previstos por el propio Plan; éste establecerá las condiciones de calidad que de acuerdo con el RAPAPH, debe cumplir cada tramo.

En este aspecto, se asumirán los objetivos propuestos en el “Estudio de objetivos de calidad en función de los usos para las

aguas superficiales de la cuenca del Ebro”, donde se plantean como objetivos a alcanzar en el Ebro, desde el Oca hasta Pignatelli y desde el sistema de embalses Mequinenza-Ribarroja-Flix a la desembocadura, que resulta ser el tramo final del río objeto de nuestro estudio (dividido, a su vez, en tres subtramos), una categoría de calidad C2, tal como ya hemos expuesto.

CAPÍTULO 2

EL CONCEPTO DE “CAUDAL ECOLÓGICO” Y “CAUDAL MEDIOAMBIENTAL”

1. INTRODUCCIÓN

La idea de mantener unos caudales mínimos en los ríos no resulta absolutamente nueva. En el siglo XIX, por ejemplo, se llegó a fijar por tramos la anchura normal de las aguas medias de los ríos del norte de Alemania, continuando por la regulación de las aguas bajas, por lo que se recomendaba referir las profundidades y las anchuras de las aguas bajas que se tenían que respetar al nivel del estiaje medio, es decir, a la media de los niveles más bajos del verano observados durante un dilatado periodo de tiempo. En subsuelo de roca, las secciones transversales normales resultaban de la profundidad y de la anchura del cauce navegable, pero en los tramos de río móviles formados por materiales sueltos, o bien cuando se intentaba variar la sección transversal para mejorar las condiciones del río, tenían que fijarse aquellos parámetros de modo que, además de la profundidad deseada, se obtuviera también la anchura exigible. Además, y antes de emprender los trabajos de regulación, había que fijar, para cada río, el “grado de navegabilidad” a que tenía que llegar. Como buen modelo de regulación puede servir al efecto el del río Weser (L. Sympher, tema I del Congreso Internacional de Navegación. Filadelfia, 1912).

Posteriormente, se establece el principio de que parte del agua disponible se tiene que destinar a asegurar el mantenimiento de un cierto “caudal ecológico mínimo” en los ríos, que asegure la permanencia de la biota preexistente, sin deterioro ambiental. Esto significa, por un lado, que las obras o infraestructuras de regulación y derivación de caudales tendrán que garantizar un caudal remanente en el río aguas abajo de las mismas, y por otro lado, que una parte de este remanente no tendrá otra utilización y constituirá por sí mismo una demanda de agua. O sea, que la parte de esta demanda ambiental que no esté incluida en las demandas existentes o consolidadas se deberá cubrir adicionalmente en base a las prioridades de uso que, en nuestro caso, el Plan hidrológico de la cuenca del Ebro señale para este tramo final del río.

La finalidad de esta demanda medioambiental, de carácter más amplio que la ecológica propiamente dicha, es la de tener en cuenta las exigencias para la protección y conservación del recurso y de su entorno, y a los efectos de su cuantificación, se tendrán que considerar los siguientes aspectos:

- **Hidrológico:** caracterizado por el régimen de aportaciones naturales del terreno y la geometría del cauce.
- **Sanitario:** en concordancia con los objetivos de calidad fijados para este tramo del río.
- **Ecológico:** que atenderá a la preservación de los ecosistemas fluviales y lacustres, como la demanda piscícola y la de los espacios naturales protegidos (con especial incidencia, en nuestro caso, en el delta del Ebro).
- **Otros:** cualquier otra circunstancia (paisajística, de navegabilidad, recreativa-lúdica, de regadío en concesión administrativa o en expectativa razonable, de refrigeración de centrales termonucleares, etc.) que, debidamente razonada y justificada, exija la necesidad de establecer un caudal mínimo.

Los criterios que han de servir de base para fijar esta demanda se han de vincular, pues, al régimen de aportaciones anuales del río (de ahí los estudios estadísticos que se desarrollan en el presente trabajo en base a los datos aportados fundamentalmente por la Confederación Hidrográfica del Ebro; ver anexos núms.: 1 y 3), a las características hidrológicas del cauce (de ahí el estudio de los perfiles transversales que se acompaña en nuestro trabajo; ver anexo nº: 2) y han de considerar, también, las condiciones de calidad de las aguas en función de los usos propuestos, de acuerdo con los aspectos anteriormente citados. Hay que tener en cuenta que esta demanda no sería directamente sumable al resto de las demandas, ya que, en general, los caudales adicionales aportados podrán ser recuperados parcial o totalmente a lo largo del río, y de un modo especial en la explotación de agua subterránea de los valles bajos y los deltas.

La fijación de caudales se tendrá que hacer para los diversos tramos de cauce, especificando los valores a los que habrá que llegar en todos los puntos en los que existen modificaciones sensibles de los caudales naturales, ya sea por retenciones, captaciones, aportaciones, efluentes, vertidos o derivaciones. Cuando no sea necesario realizar una mayor subdivisión se definirán, como mínimo, en los tramos alto, medio y bajo. Desde esta perspectiva, en nuestro trabajo el tramo inferior del Ebro se ha subdividido en tres subtramos (I, II y III) que se definen espacialmente. Según los aspectos anteriores, los criterios básicos generales a tener en cuenta serán los que se desarrollan en los epígrafes siguientes.

2. ASPECTO HIDROLÓGICO

El aspecto hidrológico se tendrá que considerar justo cuando se disponga de una clasificación del río y de sus afluentes o de sus tramos, y datos específicos de su régimen natural. En nuestro caso, se ha llevado

a efecto para el tramo inferior del Ebro, teniendo en cuenta el régimen de aportaciones naturales y la geometría de su cauce.

3. ASPECTO SANITARIO

Se estudiarán los caudales necesarios para conseguir en cada tramo considerado los objetivos de calidad definidos por el correspondiente Plan Hidrológico (el del Ebro, en nuestro caso). Transitoriamente, se podrán asignar caudales superiores que garanticen una dilución de los vertidos, que se tendrán que disminuir progresivamente a medida que se desarrolle el proceso de depuración y mejora de la calidad del agua, de acuerdo con los plazos de los programas que establezca el propio Plan de cuenca.

Si se asimila el concepto de “garantía de un objetivo de calidad” a la garantía correspondiente al caudal mínimo circulante por el río para el cual se cumple este objetivo se puede afirmar, como conclusión fundamental, que las actuaciones propuestas de saneamiento -con todo y que llegan al fondo prácticamente de las posibilidades de depuración convencional de los efluentes contaminantes- pueden no resultar suficientes en algunos tramos del río, para conseguir los objetivos de calidad con una garantía asimilable a la requerida para la demanda de estas aguas (80% y 95%). En estos casos, podría llegar a ser necesario, para conseguir el objetivo de calidad con una garantía adecuada, una aportación de caudal adicional para la dilución. El caudal total así obtenido constituye un caudal mínimo para este objetivo de calidad en forma de demanda estacional, o visto de otro modo, una disminución del recurso disponible cuando no sea posible su utilización aguas abajo.

Los caudales adicionales se pueden calcular de forma realista para la situación actual, pero no así para horizontes futuros, que tendrán que ser objeto de un proceso de verificación a medida que evolucione la calidad de las aguas como resultado de la implantación y puesta en marcha de las obras de depuración programadas.

Por la misma definición de caudal adicional, esta demanda va unida a cuatro factores básicos, a saber:

- El estado actual de la calidad de las aguas del río.
- Los objetivos de calidad según los usos.
- Las actuaciones de depuración que se consideren.
- Los caudales propios del río para la garantía que se determina.

4. ASPECTO ECOLÓGICO

Se estudiará el efecto restrictivo que sobre la productividad de biomasa puede producir un determinado caudal circulante, teniendo en cuenta su incidencia sobre las biocenosis propias del ecosistema fluvial junto con las condiciones adicionales suficientes para eso. En este caso, el caudal correspondiente se definirá como “caudal ecológico característico” de este tramo fluvial, siendo por lo tanto el que permite mantener o mejorar la productividad de los ecosistemas existentes en los tramos afectados.

Teniendo en cuenta que no sólo hay que considerar el volumen de agua circulante sino también su variación o estacionalidad en el tiempo, y que los mínimos sean compatibles con la situación biológica de las especies afectadas, habrá que considerar las siguientes condiciones adicionales:

- Caudal mínimo instantáneo circulante en las diferentes épocas del año.
- Caudal máximo instantáneo, controlable en condiciones normales de perfeccionamiento en las diversas épocas del año.
- Tiempo de duración de las variaciones del caudal y “pulsos” o “pulsaciones” con los que se presentan estas variaciones, y por consiguiente, previsión y planificación de la necesidad de prever contraembalses, especialmente aguas abajo de los aprovechamientos hidroeléctricos.
- Caudal preciso para obtener las características mínimas necesarias de calidad en las aguas (oxígeno disuelto, intervalo de temperatura, pH, etc.).

Además, se estudiarán las siguientes situaciones para el mantenimiento de las condiciones mínimas requeridas por los hidrosistemas, a saber:

- Presencia de las diferentes especies y sus ciclos. Hay que tener en cuenta la clasificación de cauces y en concreto su aptitud para la vida de las especies piscícolas (corrientes de agua salmonícolas y ciprinícolas). En nuestro caso, como ya hemos visto, se adoptará la base II (C2), o sea, zona de interés piscícola (ciprínidos) con nivel de protección medio.
- Calidad del agua necesaria para el mantenimiento de las especies.
 - Morfometría del cauce (véase el anexo nº: 2) .
 - Tipología de la vegetación de ribera.
 - Presencia de zonas de crianza.

Otros autores (PALAU, 1994) definen el “caudal de mantenimiento”, en contraposición a la denominación de “caudal ecológico”, como el caudal que hay que dejar en un río aguas abajo de cada aprovechamiento de regulación o derivación (modificación del régimen natural) para que se mantenga un cierto “nivel admisible de desarrollo” de la vida acuática. Según dicho autor “el problema está en saber cuál es ese nivel admisible de desarrollo. Como primera aproximación, puede considerarse que este nivel de admisibilidad tendrá que estar dentro del rango de variabilidad natural del sistema considerado (río) y lo más alejado posible de las situaciones calificables de extraordinarias o, en definitiva, hidrológicamente poco probables. Puede establecerse sin riesgo de error que el nivel admisible para el desarrollo de la vida acuática podrá conseguirse con un caudal de mantenimiento situado entre los valores mínimo y medio de la serie hidrológica representativa estudiada. Aún en el marco del concepto de “caudal de mantenimiento”, al margen de que esta denominación también sea discutible, con los actuales conocimientos sobre organización y dinámica de los sistemas fluviales, resulta imprescindible abandonar la idea de que el caudal de mantenimiento es un simple valor único de caudal y pasar a entenderlo como un concepto múltiple, compuesto por varios elementos que en conjunto forman una estrategia, un protocolo o, si se prefiere, un régimen de gestión racional de los sistemas fluviales”.

5. OTROS ASPECTOS Y CAUDAL TOTAL A CONSIDERAR

Habrà que incluir, así mismo, las circunstancias de todo tipo que induzcan razonablemente a la perentoriedad de establecer un cierto caudal mínimo motivado por otras exigencias, particularmente las de tipo paisajístico, lúdico, recreativo, de regadío en concesión administrativa o en expectativa razonable, de refrigeración de centrales termonucleares, etc. Estos aspectos, análogamente a los anteriores, se verán sometidos a las prioridades que establece el correspondiente Plan Hidrológico de Cuenca y que reseñamos a continuación.

Obviamente, el caudal total preciso para atender las demandas medioambientales no será normalmente el que se deduzca de la adición de los caudales obtenidos para cada uno de los aspectos anteriormente citados, sino el que se considere más significativo para el tramo de cauce en estudio, en concordancia con el aspecto que tenga prioridad para el mismo. También se tiende a considerar que la fijación de “caudales medioambientales” sólo supondrá la necesidad de caudales adicionales cuando no queden recogidos implícitamente por los caudales circulantes de las otras demandas que se consideren prioritarias. Veamos en este sentido que -excepto otras jerarquizaciones que puedan establecer los respectivos Planes de Cuenca- la vigente Ley de Aguas y sus ulteriores modificaciones establecen una priorización de usos que debe ser

respetada en todo momento. En efecto, los planes hidrológicos de cuenca fijarán el orden de preferencia en el otorgamiento de las concesiones, según lo establecido en el artículo 58 de la vigente Ley de Aguas de 1985 y sus disposiciones concordantes. A falta de dicho orden de preferencia, regirá, con carácter general, el siguiente:

- 1.º Abastecimiento de población, incluyendo en su dotación la necesaria para las industrias de poco consumo de agua situadas en los núcleos de población y conectadas a la red municipal.
- 2.º Regadíos y usos agrarios.
- 3.º Usos industriales para producción de energía eléctrica.
- 4.º Otros usos industriales no incluidos en los apartados anteriores.
- 5.º Acuicultura.
- 6.º Usos recreativos.
- 7.º Navegación y transporte acuático.
- 8.º Otros aprovechamientos.

El orden de prioridades que pudiera establecerse específicamente en los planes hidrológicos de cada cuenca deberá respetar, en todo caso, la supremacía del uso consignado en el apartado 1.º de la precedente enumeración. Dentro de cada clase, en caso de incompatibilidad de usos, serán preferidas aquellas de mayor utilidad pública o general, o aquellas que introduzcan mejoras técnicas que redunden en un menor consumo de agua.

Por cierto que el Plan Hidrológico del Ebro establece, de forma general en el ámbito del Plan, una cierta prioridad de usos en el ejercicio de las facultades que le otorga el artículo 58 de la Ley de Aguas y sus ulteriores modificaciones. En este sentido, es de resaltar que los regadíos (capítulo fundamental, por su cuantía, en cualquier Plan Hidrológico) quedan en la segunda posición, por detrás de los usos de abastecimiento urbano, con la obligatoriedad de mantener los caudales ecológicos mínimos en todas las concesiones futuras.

Por otra parte, la casuística para la compatibilización de usos es muy variada, pero podrá seguir requiriendo el establecimiento de embalses intermedios que corrijan las distintas modulaciones exigidas por los diferentes usos (FRANQUET, 2001).

Sin embargo, estas consideraciones metodológicas no tienen por qué ser aplicables *strictu sensu* al conjunto de los caudales circulantes por el tramo inferior del río Ebro (Flix-desembocadura), dado que, por un lado, en este tramo final sí se presenta la problemática de la adicionabilidad de demandas para los diferentes aspectos medioambientales, y por otro lado la importancia fundamental que atañe al delta del Ebro, como espacio natural singular y necesitado de especial protección, desde la perspectiva ecológica.

Pero resulta necesario establecer un régimen transitorio para la fijación de los citados caudales medioambientales. En la “Propuesta del Proyecto de Directrices del Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro” (8 de mayo de 1992) se decía ya entonces que, dada la complejidad que supone la evaluación de los caudales mínimos para los ríos de la cuenca, con carácter transitorio se deberían tener en cuenta las siguientes cuestiones:

- Se adoptarán los caudales obtenidos de los estudios específicos en aquellos tramos de río en que se hayan llevado a cabo.
- Se adoptarán los caudales fijados por las Comunidades Autónomas en sus disposiciones normativas específicas sobre caudales mínimos.
- Se adoptará con carácter general como caudal mínimo el 10 % de la aportación media interanual en el régimen natural, excepto justificación en sentido contrario. Cuando el caudal medio interanual, en régimen natural, sea superior a los 80 m³/seg podrá adoptarse sólo el 5 % de aquel valor (por cierto, éste es el caso del tramo inferior del río Ebro que es objeto del presente Informe).
- El Plan Hidrológico tendrá que sintetizar en una norma única el caudal de reserva para usos medioambientales en base a una coordinación de los criterios mantenidos por otras administraciones en el ejercicio de competencias concurrentes con el recurso hidráulico. También se considera oportuno que dichas actuaciones de coordinación se lleven a cabo en el ámbito del correspondiente Consejo del Agua.

Como ya hemos dicho, dentro de este apartado tenemos que considerar una amplia diversidad de usos estrechamente ligados a una demanda social creciente (pesca deportiva, esquí acuático, usos escénicos, navegabilidad, etc.). De entrada, pues, se tendrían que estudiar cuidadosamente los condicionantes que estos usos pueden imponer a otros aprovechamientos e infraestructuras. Podríamos aquí considerar tres grandes apartados:

a) Acuicultura

Las planificaciones que se establecen en función de los oportunos estudios prospectivos que presuponen posibles desarrollos de la acuicultura continental y la litoral (de singular relevancia en el delta del Ebro) tendrán en cuenta las demandas necesarias de agua por este concepto.

Cualquier proyecto técnico de instalaciones de acuicultura continental exigirá un estudio hidrológico minucioso de conjunto y de detalle, tanto por los elevados caudales hídricos demandados como por los aspectos negativos de los retornos sobre la calidad de las aguas,

procurando dotarlas de elementos que permitan una autonomía de funcionamiento sin interferir con el régimen ordinario de explotación del río.

b) Prácticas deportivas y de ocio

La cultura del ocio, en todos sus aspectos, se caracteriza cada vez más por un desplazamiento de las masas humanas desde las zonas secas hacia las húmedas. Este hecho conlleva necesariamente una mejor organización del fenómeno, ajustando positivamente la demanda creciente y el dominio público, tanto por lo que se refiere a la protección del citado dominio (espacios húmedos sensibles) como por lo que afecta a la salud pública, contaminación microbiológica, aguas residuales urbanas e industriales, retornos de explotaciones agropecuarias, etc.

Las planificaciones han de programar, con la colaboración de las diferentes administraciones públicas interesadas y afectadas, la realización de unos ciertos Planes Directores de Uso y Gestión, individualizando para cada embalse, laguna y tramo de río establecidos, regulando las actividades que se puedan admitir en cada caso, las zonas en que se puedan realizar y las medidas necesarias para facilitar su desarrollo (reforestación, accesos, obras, instalaciones, concursos para la concesión administrativa de autorizaciones, etc.), así como sistemas de control y gestión del espacio natural regulado. Además, hay que incorporar programas de recuperación y rehabilitación de márgenes y riberas, incluyendo su utilización para usos recreativos, poniendo especial cuidado en la conservación de los espacios recuperados. Estas actuaciones son de especial interés en los tramos urbanos y periurbanos de los ríos, mediante la colaboración con las Comunidades Autónomas y las Corporaciones Locales interesadas. La explotación y conservación de estos espacios en las áreas externas al dominio público hidráulico estatal no tiene por qué recaer en el Organismo de Cuenca (la Confederación Hidrográfica del Ebro, en nuestro caso)³.

³ Los organismos de cuenca, en cumplimiento de lo previsto en el artículo 19 de la Ley de Aguas de 1985 (art. 21 del Texto Refundido), se constituyeron en las **cuencas hidrográficas intercomunitarias**, o que exceden del ámbito territorial de una Comunidad Autónoma, como es el caso de la del Ebro. Dichos Organismos, que adoptan la denominación de **Confederaciones Hidrográficas**, tienen una larga tradición en la historia hidrológica de nuestro país, pues parten del Real Decreto publicado en la Gaceta del 5 de marzo de 1926, recibiendo el rango de Decreto-ley el 28 de mayo del mismo año. Las primeras Confederaciones fueron las del Ebro (creada el 5 de marzo de 1926), la del Segura (R.D. de 23-8-1926), las del Duero y del Guadalquivir (1927) y la del Pirineo Oriental (1929), pero el proceso completo de creación fue dilatado en el tiempo, sobre todo en las cuencas del Norte de España, no organizadas como Confederación hasta el año 1961. Tal como fueron concebidas en la Ley de Aguas de 1985, las Confederaciones Hidrográficas son entidades de derecho público con personalidad jurídica propia y distinta de la del Estado y con plena autonomía funcional, figurando entre sus funciones la administración y control del dominio público hidráulico y la elaboración, seguimiento y revisión del Plan Hidrológico de cuenca.

En los tramos del río aptos para la práctica del piragüismo, los programas de recuperación de cauces, márgenes y riberas deberán tener en cuenta su adecuación a aquella actividad, pudiéndose también considerar a los efectos de la determinación del caudal mínimo en estos tramos del río.

Para la elaboración de planes y programas sobre usos recreativos, en general, es aconsejable dar audiencia a las asociaciones y federaciones deportivas interesadas (pesca, vela, piragüismo, etc.). Frecuentemente, estas actividades tienen una finalidad turística que puede revestir un interés económico en zonas relativamente deprimidas, como en el caso de las del entorno del tramo inferior del río Ebro.

c) Navegabilidad

En los últimos tiempos, en las comarcas del sur de Cataluña, la navegabilidad del río Ebro se ha planteado como una actuación trascendente por las diferentes administraciones que actúan en el territorio. La navegación fluvial constituye una actividad turística de futuro, ya bastante experimentada y consolidada en otros países europeos desde hace muchos años. En los años 80 se inició, entre Amposta y la desembocadura al mar, una navegación de aspecto turístico con medios marítimos y embarcaciones de pasajeros que realizaban pequeños cruceros. Como continuación de esta iniciativa y con el objetivo de promover una navegación turística estrictamente fluvial, a instancias de los consejos comarcales del Baix Ebre, Montsià, Ribera d'Ebre y Terra Alta, así como de la Diputación provincial de Tarragona, la Generalitat de Catalunya proyectó, a principios de los años 90, unas cuantas infraestructuras portuarias fluviales, como embarcaderos, señalizaciones, etc. Sin embargo, la obra emblemática del conjunto, sin duda alguna, consiste en el dragado del cauce del propio río con la finalidad de hacer navegable la siguiente vía: Riba-roja, Flix, Ascó, Móra, Benissanet, Miravet, Benifallet, Xerta-Tivenys, Aldover, Tortosa, Amposta, Deltebre, Sant Jaume d'Enveja y la Gola Norte (desembocadura). El objetivo básico residía en convertir la navegación fluvial en una oferta recreativa para pequeñas embarcaciones familiares o comunitarias de paseo y potenciar así una alternativa de futuro lúdica, cultural y deportiva para aquellas comarcas. Se trataba de un proyecto unitario con una longitud total de 119 km que, desde un punto de vista operativo, fue dividido en tres grandes tramos: Riba-roja-Tortosa (81 kilómetros), Tortosa-Amposta (14 kilómetros) y Amposta-Gola Norte (24 kilómetros), que estudiaremos separadamente.

- a) En el tramo Riba-roja-Tortosa existen tres barreras para la navegación fluvial: la presa de Flix y los azudes de Ascó y de Xerta-Tivenys, que enfrentan dos tipos diferentes de intereses:

los hidroeléctricos y los turísticos. El proyecto planteaba la rehabilitación de las correspondientes esclusas, ya existentes antiguamente en Flix y Xerta pero fuera de servicio, lo que exigía su reconstrucción.

- b) Para el tramo Tortosa-Amposta se había previsto el dragado de un canal de navegación de 50 metros de anchura. Para poder hacer la navegación más segura, el canal se ha señalizado mediante un sistema de balizamiento diurno, constituido por 146 boyas laterales y 31 señales fijadas a los embarcadores o encima de unos palos a lo largo de los márgenes. El calado del canal es de dos metros y el radio mínimo de las curvas, para garantizar que el cruzamiento de dos barcos se pueda realizar de manera segura, es de 400 metros.
- c) Finalmente, para el tramo final Amposta-Gola Norte, que ya era navegable con anterioridad a la ejecución de estas actuaciones, se han previsto obras que permitirán la salida al mar de las embarcaciones. Esta posibilidad va ligada a la estabilidad geomorfológica del hemidelta norte (delta izquierdo del Ebro), donde se proyecta un espigón, sin olvidar tampoco la rehabilitación del canal de navegación Carlos III o “Canal Marítimo” que uniría directamente la ciudad de Amposta con el puerto marítimo de San Carlos de la Rápita.

En definitiva, mediante el turismo fluvial en el tramo inferior del Ebro se esperaba revalorizar el capital turístico de la zona, promover los cruceros de recreo y la navegación recreativa, crear centros de interés complementario a la navegación estricta y al turismo (gastronomía, artesanía, mercado del barco usado, alquiler de embarcaciones, etc.) y dar lugar a un importante trabajo educativo y cultural. Pero lo cierto es que también se han levantado voces críticas no exentas de razón: que esto haya de representar un notable impulso al turismo de las cuatro comarcas catalanas del tramo inferior (Baix Ebre, Montsià, Ribera d'Ebre y Terra Alta), es algo que está por ver y demostrar. De momento, la rentabilidad conseguida por algunas ofertas de navegación ya establecidas parece ser escasa. Algo que sí parece claro es que la construcción y el mantenimiento físico de los dragados fluviales, en todo el mundo, suelen resultar muy problemáticos y costosos. Y en el caso de nuestro río se juzga, por lo menos, cuestionable que estos gastos sean sostenibles a medio plazo por el desarrollo y los beneficios que puede generar la navegabilidad aguas arriba del Delta.

También se apuntan otros defectos de concepción o constructivos. El canal de dragado que se construyó, en vez de seguir los puntos que naturalmente excava el río (cercanos a la orilla externa en los virajes)

discurría precisamente por los lugares de poco calado, donde el río tiene tendencia natural a rellenar y sedimentar los acarreos y aluviones. Con ello, además de aumentarse el volumen del dragado y haberse duplicado ya el presupuesto inicial del proyecto, tampoco queda nada clara su supervivencia a medio plazo. De hecho, los primeros dragados efectuados en el tramo Tortosa-Amposta quedaron parcialmente rellenos por la moderada crecida provocada por el río Siurana poco después de inaugurada la obra, incluso arrastrando parte de las boyas de señalización del canal. Este incremento del volumen de la obra ha hecho fracasar las primeras estimaciones presupuestarias, ya que sólo hasta Móra se invirtieron 1.265 millones de las antiguas pesetas mientras que la ejecución del proyecto hasta Riba-roja había de costar sólo 1.010 millones. Además, las avenidas, con puntas de caudal -el mes de enero de 1997 se produjo una notoria- del orden de $2.800 \text{ m}^3/\text{seg.}$, también han jugado en contra del dragado y han impedido el funcionamiento normal de la maquinaria de dragado durante varios meses. Las cuestiones derivadas del impacto ambiental de la obra, en fin, no permiten dragar entre los meses de mayo y junio, con lo que se ha aprovechado la interrupción de los trabajos en el agua para limpiar 33 vertederos incontrolados de escombros diversos.

Por otra parte, algunas organizaciones ecologistas consideran que, en épocas estivales, cuando el caudal del río alcance los mínimos anuales, la central termonuclear de Ascó necesita casi toda el agua para la refrigeración de los condensadores del reactor existente aguas abajo del correspondiente azud; entonces, sólo queda en circulación por aquel tramo el canal de descarga. Por tanto, si hubiera una navegación abierta, nunca se podría garantizar el caudal mínimo necesario para poder navegar en base a las condiciones del proyecto (del orden de $60 \text{ m}^3/\text{seg.}$). También las alegaciones de los ecologistas han forzado a hacer un estudio de localización de náyades (moluscos bivalvos lamelibranquios, como la *Margaritifera Auricullaria*) y a iniciar el traslado de unos 30.000 ejemplares de estas especies (dotadas del máximo nivel de protección de la Unión Europea) que habitan en unas seis hectáreas del cauce del río, a otras zonas del mismo que no resultaran afectados por las máquinas. Todo ello pudo representar en su día no menos de 50 millones de pesetas de coste adicional.

Últimamente, entre las actuaciones a realizar a corto plazo aprobadas por la Comisión de Navegabilidad del IDECE a comienzos del año 2009, con un presupuesto de 1'7 millones de euros, figuran las siguientes: la instalación de balizas en el pantano de Flix, la construcción de un paso de embarcaciones sin motor en el azud de la central nuclear de Ascó, la colocación de paneles informativos y turísticos, el transporte de muelles de temporada a García, el dragado del tramo fluvial comprendido entre Tortosa y Amposta para garantizar un calado

suficiente a embarcaciones de 1'8 metros, la dotación de electricidad, agua y recogida de residuos en los principales embarcaderos y la instalación de puntos para poner combustible.

A medio plazo, las propuestas que contiene el estudio llevado a cabo por el IDECE ascienden a 14'06 millones de euros. En este apartado destaca la concreción de un modelo de puerto náutico con marina seca diseñado para albergar 70 amarres y con capacidad de 150 embarcaciones en la marina seca. El estudio, elaborado por *Ports de la Generalitat de Catalunya* y que estima el coste en 3'1 millones de euros, prevé también alquilar por 2.000 € al año cada amarre y por 1.500 € el almacenamiento de embarcaciones.

Todas estas experiencias y tropiezos han sido determinantes para que los Departamentos de Política Territorial y Obras Públicas y Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña se replanteen seriamente las estrategias a seguir antes de continuar hacia delante. De esta manera, las obras para la navegabilidad del río Ebro se habrán de ejecutar de la misma manera que se hacen las carreteras, o sea, a tramos y a base de años y de mucha, mucha paciencia. Esperamos, en definitiva, su final exitoso, para que los habitantes del tramo inferior del Ebro no puedan pensar que esto de la navegabilidad del río es sólo una exótica narración de sus abuelos, o sea, un puro y costoso ejercicio de romanticismo.

Otros aspectos relacionados con la navegabilidad del río Ebro en su tramo inferior, así como el análisis de las actuaciones que la administración autonómica catalana ha realizado al respecto en los últimos años, en fin, nos llevarían a un análisis crítico del proceso seguido y de la situación actual que preferimos obviar por razones de espacio y oportunidad.

CAPÍTULO 3 LEGISLACIÓN SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS

1. EL CAUDAL ECOLÓGICO Y LA LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

El caudal mínimo se asociaba generalmente al desagüe por parte de la presa de un volumen relativamente constante de agua, determinado de forma más o menos consensuada entre todos los intereses implicados. Con la creciente preocupación por la conservación del medio natural y el deterioro progresivo de los ecosistemas fluviales, no sólo se ha ampliado el concepto de “caudal mínimo” sino que también se ha desarrollado una mayor cobertura legislativa al respecto.

Algunos países han desarrollado legislaciones específicas para el cálculo de los caudales mínimos con el objetivo de conservar los ecosistemas fluviales. Otros han dictado normas generales dentro de sus legislaciones en materia de aguas y en estos casos, por lo general, la asignación de caudales mínimos se evalúa en los procedimientos de autorización previstos para la explotación de este recurso.

En Francia, por ejemplo, la Ley de la Pesca y la Gestión de los Recursos Piscícolas (1984), en su artículo 410, establece que el caudal mínimo no debe ser inferior a la décima parte del caudal medio anual calculado para un periodo mínimo de cinco años. Por otro lado, prevé que se garantice la circulación de los peces mediante la implantación de pasos u otros dispositivos en los casos en que sea necesario. También suele expresarse el caudal ecológico en ciertos **volúmenes por cuenca y por año** o bien en **caudales mínimos** a mantener en cierto río durante el año, por ejemplo que se tiene que garantizar un caudal mínimo 100 m³ por segundo durante todo el año. Sin embargo, no se necesita mucha imaginación para comprender que estos caudales *per se et essentialiter* (como dirían los teólogos) no garantizan la permanencia de los ecosistemas que dependen de un determinado río.

La legislación suiza establece unas exigencias mínimas según que las aguas se consideren piscícolas o no; los valores exigidos se calculan en base al caudal alcanzado o excedido durante 347 días al año (Q_{347}), lo que representa el 95% del periodo total anual (365'25 días, teniendo en cuenta la parte proporcional del año bisiesto).

En Gran Bretaña la asignación de caudales mínimos se realiza teniendo en cuenta las necesidades de las poblaciones piscícolas y la

conservación de ecosistemas valiosos. Algunos embalses británicos mantienen una variación estacional en los caudales mínimos y realizan descargas excepcionales en determinados momentos del año para simular las crecidas naturales del río que favorecen las migraciones de salmónidos y mantienen el fondo libre de sedimentos. Soluciones parecidas a ésta, por cierto, han sido propuestas también para el tramo inferior del río Ebro que es objeto de nuestra atención, como tendremos ocasión de comprobar posteriormente.

En los Estados Unidos, se han desarrollado diversos métodos para estimar los caudales que deben ser desaguados a los ríos para conservar el medio natural. Estas estimaciones utilizan desde métodos porcentuales sencillos hasta sofisticadas técnicas de simulación hidráulica como la IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*, Bovee, 1978), propuesta por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los EEUU. La aplicación de esta técnica se ha convertido en una exigencia para la obtención y renovación de concesiones en muchos estados norteamericanos⁴.

2. EL CAUDAL ECOLÓGICO EN ESPAÑA

En España, la vigente Ley de Aguas (29/1985, de 2 de agosto)⁵, así como sus modificaciones y disposiciones complementarias ulteriores contemplan, aunque de un modo vago y genérico, diversos aspectos relacionados con la conservación de las aguas continentales y ecosistemas asociados. Así queda establecido, en su artículo 40d, la necesidad de mantener un caudal mínimo que garantice la conservación del medio natural. Dichos caudales se fijarán de acuerdo con las previsiones de los correspondientes Planes Hidrológicos.

Sin embargo, la legislación española actual carece de definiciones precisas, ni cualitativas ni cuantitativas, de los caudales mínimos, aunque varias Comunidades Autónomas ya han presentado algunas propuestas (Principado de Asturias, Diputaciones Forales de Navarra y Guipúzcoa, etc.) en general muy similares a las adoptadas en las legislaciones suiza y francesa. **A este respecto, hemos efectuado los cálculos correspondientes para la determinación de los caudales mínimos medioambientales en el tramo inferior del río Ebro basándonos en las mismas, en otros apartados de nuestro estudio.**

⁴ Vide MANTEIGA LÓPEZ, M.D. OLMEDA LATORRE, C. *El caudal ecológico. Un consenso entre explotación y conservación de los cursos de agua*. Segundo Congreso Internacional de Ordenación del Territorio. Valencia, 1991. Citado en la bibliografía.

⁵ Dicha Ley, publicada en el BOE nº: 189, de 8/08/85, substituyó a la de 13 de junio de 1879, considerada, por gran parte de la doctrina, con toda justicia, como uno de los textos modélicos del Derecho Positivo español.

Algunas Confederaciones Hidrográficas se han inclinado por la utilización del caudal medio anual (Q_{an}) como unidad de definición del caudal mínimo, fundamentalmente por disponibilidad de datos. En estos casos sugieren que los caudales mínimos se fijen en 1/10 del caudal medio anual, siguiendo el modelo francés anteriormente reseñado.

En otras cuencas se prevé la utilización de los caudales mínimos registrados durante una serie de años como unidad de referencia para el cálculo del caudal ecológico.

Algunos expertos en el tema consideran las tendencias antes mencionadas como carentes de base científica, poco generalizables y de escasa eficacia (GARCÍA DE JALÓN, 1990). Señalan que cada río tiene sus peculiaridades en cuanto a características físicas y biológicas. Por otra parte, apuntan que las comunidades acuáticas pueden adaptarse a vivir con caudales muy reducidos durante cortos periodos de tiempo, pero no de forma permanente.

En líneas generales, consideran más acertado utilizar criterios en los que se relacionan exigencias piscícolas y variaciones del hábitat en función de los caudales circulantes; existen para ello numerosas metodologías (Tennant, 1976; White, 1976; Stalnaker, 1979; Bovee, 1982; etc.), que ya han sido aplicadas en algunos ríos españoles.

García de Jalón ha desarrollado una metodología propia, basada en los conceptos propuestos por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos y adaptada a las condiciones particulares de los ríos de algunas cuencas hidrográficas españolas.

Dicha metodología parte de un modelo de simulación hidráulica fluvial que se ajusta a las condiciones físicas del cauce en estudio, y considera las curvas de preferencia de la fauna para cada uno de los parámetros hidráulicos definidos en el modelo. Se considera el río dividido en celdas caracterizadas por unos determinados valores físicos (profundidad media, velocidad media, etc.) y las preferencias piscícolas para cada uno de estos parámetros que, en definitiva, indican un valor potencial del hábitat fluvial en dicha celda.

Así se obtiene una relación entre el valor ecológico del hábitat y los caudales circulantes por el río, sirviendo de instrumento para fijar los caudales ecológicos con base científica.

Este autor considera preciso distinguir entre caudales ecológicos mínimos absolutos y caudales ecológicos aconsejables. La diferencia entre ambos reside en el nivel de estrés a que se someten las poblaciones piscícolas por defecto de caudal. El caudal ecológico

aconsejable es más abundante y se reserva para épocas de reproducción en el caso de ríos ciprinícolas (Mayo-Junio) y para épocas de reproducción y altas temperaturas estivales (Noviembre-Febrero y Julio-Septiembre) en el caso de ríos salmonícolas.

Con lo expuesto anteriormente queda implícita no sólo la necesidad de estimar un caudal ecológico para cada caso concreto, sino la importancia de mantener su variación estacional con el fin de conservar las comunidades acuáticas.

En los ríos de la Comunidad de Madrid se han evaluado los costes económicos del mantenimiento de caudales ecológicos calculados en base a estas metodologías (CUBILLO, 1991). Los resultados de esta evaluación destacan las ventajas que se obtendrían, no sólo de índole ecológica sino también en relación con los usos recreativos y la calidad del agua.

Al considerar el caudal ecológico como una demanda más (medioambiental) pueden plantearse conflictos en relación con las otras demandas. Este aspecto cobra singular importancia en cuencas con relativa escasez de recursos (por ejemplo, las de la mitad sur peninsular o las de levante) donde en determinadas épocas el volumen de concesión para algunos usos podría verse disminuido (MANTEIGA-OLMEDA, 1991).

3. CONCLUSIONES

Los caudales ecológicos surgen, en definitiva, como una medida de conservación del medio acuático ante las agresiones sufridas por los sistemas de explotación del agua.

La legislación en materia de aguas de los diversos países establece la necesidad de mantener un caudal ecológico, y en algunos casos fijan los métodos que se deberán aplicar para su cálculo. En España los Planes Hidrológicos de cuenca contemplan la definición de dichos caudales ecológicos, basándose fundamentalmente en porcentajes fijos. Algunos expertos en el tema apuntan la necesidad de llevar a cabo estudios más específicos que tengan en cuenta las peculiaridades de los ríos, máxime si se considera la gran variación de regímenes y condiciones hidrológicas de las distintas cuencas españolas (MANTEIGA-OLMEDA, 1991).

CAPÍTULO 4

LAS PREVISIONES DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL

1. LAS DEMANDAS DE CARÁCTER AMBIENTAL

Un componente básico son las demandas de carácter ambiental que, por motivos de protección y recuperación del dominio público hidráulico, se impongan a los caudales mínimos circulantes. Se observa que si bien actualmente son del orden del 50% de las de refrigeración, los criterios utilizados en el Plan Hidrológico Nacional⁶ para su evolución las incrementan de forma continua y de manera substancial. Debe tenerse en cuenta, a este respecto, que en un país semiárido como es España, y con recursos hídricos naturales escasos en muchas regiones, es preciso utilizar soluciones autóctonas más adecuadas que la simple extrapolación de criterios empleados en países húmedos de Europa central. No puede olvidarse que se trata de recuperar los cauces, sus márgenes y riberas, y mantener láminas de agua de la calidad adecuada para cada ecosistema, lo que seguramente se puede conseguir con caudales y volúmenes razonables.

Aunque las exigencias de calidad ambiental son, básicamente, una limitación para la asignación de recursos, los caudales que se requieren con ese fin pueden considerarse prioritarios después del abastecimiento a la población. La determinación de los caudales ambientales depende de múltiples parámetros y de la calidad fijada al agua en cada tramo de río y cada acuífero, en función del uso al que se destine y del escenario ambiental previsto, por lo que, como es obvio, estos datos no deberían ser definitivos hasta que no estuvieran realizados los estudios correspondientes a cada caso. En consecuencia, en el Plan Hidrológico Nacional se ha supuesto que, a efectos de balance, la demanda ambiental que debe ser satisfecha desde los sistemas de regulación destinados a usos consuntivos -es decir, con recursos disponibles con garantía de suministro- es, como mínimo, el uno por ciento de los recursos naturales de la cuenca. Este porcentaje se ha incrementado al

⁶ El Plan Hidrológico Nacional (PHN), aprobado por la ley 10/2001, de 5 de julio, fija los elementos básicos de coordinación de los Planes Hidrológicos de cuenca, la solución para las posibles alternativas que aquellos ofrezcan, la previsión y las condiciones de las transferencias de recursos hidráulicos entre ámbitos territoriales de distintos Planes Hidrológicos de cuenca y las modificaciones que se prevean en la planificación del uso del recurso y que afecten a aprovechamientos existentes para abastecimiento de poblaciones y regadíos. Posteriormente fue modificado por el R.D. Ley 2/2004 de 18 de junio de Modificación del Plan Hidrológico Nacional y por la Ley 11/2005 de 22 de junio por la que se modifica la Ley 10/2001 de 5 de julio del Plan Hidrológico Nacional.

dos por ciento en la mayor parte de las cuencas e incluso a cifras superiores en alguna, como la del Duero, donde existen grandes tramos de ríos salmonícolas; por otra parte se han destinado importantes volúmenes específicos para resolver problemas actuales bien localizados: Tablas de Daimiel, Doñana, Albufera de Valencia, delta del Ebro, etc.

Dado que la demanda ambiental no es consuntiva, este caudal de recursos garantizados se añadiría, donde sea necesario y posible -por estar dominados los tramos del río en cuestión desde un sistema de explotación de recursos-, a los caudales circulantes por los cauces en régimen natural, a los retornos de otros usos -con los requisitos que se derivan de los objetivos de calidad exigidos por el Plan de cada cuenca en cada tramo de río-, y a los caudales turbinados en las centrales hidroeléctricas. Así pues y aunque, por supuesto, las cifras ahora utilizadas deberán ser revisadas a lo largo del proceso flexible, abierto y continuado de profundización en el conocimiento del ciclo hidrológico y de evolución y mejora de la propia planificación hidrológica, se puede adelantar que, desde el punto de vista global que interesaba al Plan Hidrológico Nacional, se creían suficientemente adecuadas.

2. LOS CAUDALES AMBIENTALES

A partir de lo establecido en el artículo 40 de la Ley de Aguas, donde se indica que los Planes Hidrológicos de cuenca deben incluir... *la asignación y reserva de recursos... para la conservación o recuperación del medio natural...* se generó una expectativa sobre el caudal ecológico como una especie de caudal mínimo que debería circular por los cauces para mantener sus condiciones ambientales y ecológicas; en las pocas ocasiones en que se ha tratado de cuantificar dicho caudal, se ha acudido a la transposición de normativas extranjeras sobre pesca y protección de las aguas que deben ser adaptadas a las circunstancias climáticas del país.

A fin de organizar y coordinar los trabajos que se deben realizar a este respecto en los Planes Hidrológicos de cuenca es necesario tener en cuenta, en primer lugar, que las características ambientales de los ríos han evolucionado a lo largo del tiempo desde su estado estrictamente natural -que probablemente ni siquiera se conoce hoy en día-, hasta el que presentan actualmente que es consecuencia, en cierto modo, de los efectos positivos y negativos de las obras de regulación -presas y embalses- construidas fundamentalmente a lo largo del siglo XX, y, sobre todo, de la degradación de la calidad del agua por la contaminación orgánica e inorgánica que se ha producido en los últimos años.

Así pues, lo primero que hay que acometer es decidir, para cada tramo de río, cual es el necesario objetivo que se quiere obtener. En realidad, lo único que añade a las tareas de planificación es un uso adicional a los convencionales; en consecuencia, sus características, como ocurre con las de aquellos, deberán definirse *a priori*. Es bien cierto que, en este caso, la determinación de las características necesarias de calidad y cantidad -normalmente no consuntivas-, será mucho más complicada porque involucra el conocimiento de aspectos tales como las especies bióticas que existen, o se quieren introducir, la estructura del cauce, lecho y márgenes e incluso a sus parámetros hidráulicos: calado, pendiente, velocidad, radio hidráulico de la sección transversal, etc.

Se destaca, sin embargo, que, aunque su investigación es ciertamente más complicada, se trata de unas necesidades muy variables, que tienen unos condicionantes respecto a la calidad y cantidad del agua que se necesitan para satisfacerlas, y que, por supuesto, también debe tener definido el orden de preferencia que ocupa respecto al resto y que, generalmente, será el inmediatamente posterior al abastecimiento de la población.

Puesto que, así definida, esta demanda es semejante a las demás, se comprende lo absurdo que resultaría fijar un caudal mínimo, con carácter general en todos los ríos, con el objetivo de satisfacerla. Lo lógico es analizar cada sistema de explotación -mediante los obligados modelos matemáticos de simulación-, y comprobar si con los recursos disponibles y la calidad que tendrán se puede satisfacer la demanda en cuestión que, por supuesto, puede ser muy diferente, incluso en cada tramo del mismo río, en función, entre muchos factores, de la tipología de la flora y de la fauna que se pretende conservar e introducir. Si los recursos previstos no son suficientes, en cantidad y/o calidad, deberán, como en cualquier otro caso, complementarse y mejorarse.

Puede muy bien ocurrir, por ejemplo, que los caudales regulados con fines hidroeléctricos proporcionen un caudal más que suficiente para conseguir los objetivos ambientales; es posible también que la explotación hidroeléctrica produzca unas variaciones bruscas en el caudal y/o la temperatura del agua que resulten incompatibles con la satisfacción de esta demanda, por lo que deberá estudiarse y proponerse la solución más adecuada. En cualquier caso, es evidente que la solución en este caso -relativamente frecuente en muchas regiones de la España húmeda-, no sería nunca la adición de un caudal mínimo regulado con este fin.

También es necesario dilucidar la calidad que deben tener las aguas para satisfacer la demanda correspondiente a cada escenario elegido. Es posible que, en algunos casos, la que se consigue para otras

demandas sea suficiente, pero también puede ocurrir, en ocasiones, que haya que forzar el tratamiento de los vertidos para conseguir que determinado parámetro tenga los valores límites necesarios. Es previsible incluso que se llegue a la conclusión que las pretensiones iniciales para el tramo en cuestión eran demasiado exigentes para las condiciones que se pueden lograr, con inversiones razonables, y sea más aconsejable modificar las características de la demanda.

3. PROGRAMA DE ACCIÓN

A fin de conseguir que todos los Planes Hidrológicos de cuenca utilicen procedimientos similares, de manera que sean coordinables posteriormente, en el Plan Hidrológico Nacional se indica la metodología general que se deberá utilizar al respecto. Debe tenerse en cuenta que las diferencias que se pueden producir si se emplean procedimientos esencialmente distintos, tanto en los resultados finales como en condicionantes sobre los recursos hidráulicos y económicos necesarios, son de tal naturaleza que su coordinación es completamente obligada. Resulta, en definitiva, que los Planes Hidrológicos de cuenca deberán analizar los siguientes aspectos:

- a) Delimitación de los diferentes tramos de los cauces de los ríos donde los escenarios medio-ambientales deseados sean distintos entre sí.
- b) Determinación de los objetivos pretendidos en cada tramo y definición de los condicionantes de cantidad y calidad de agua que se precisa para satisfacer esta demanda.
- c) Definición de las actividades complementarias necesarias -a partir de la situación actual-, ya sean de incorporación infraestructural o de medias de gestión.
- d) Estudio, mediante la simulación del comportamiento de cada sistema hidráulico, de las necesidades adicionales respecto a cantidad y calidad que precisará el sistema para satisfacer esta demanda, conjuntamente con las restantes identificadas para este tramo.
- e) Valoración económica de las actividades adicionales citadas.

A partir de este punto se puede entrar en un ciclo, que comienza de nuevo en el punto b), si de los resultados se deduce que los escenarios preseleccionados son demasiado onerosos o bien afectan de manera notable a la satisfacción de otras demandas. En cualquier caso, después de los ciclos necesarios se elegirá una solución que implicará conocer no sólo los condicionantes de cantidad y calidad que debe tener el agua en el tramo en estudio, sino también las eventuales labores de corrección que es preciso realizar en los cauces, márgenes, vegetación de ribera, etc.

Se destaca el hecho de que, en muchos casos, será suficiente con disponer de una lámina de agua estable, con variaciones acotadas del calado, que precise de un caudal de reposición mínimo. Existen soluciones estructurales adecuadas que pueden conseguir este objetivo cuando los calados son relativamente pequeños, como es habitual en el tramo inferior del río Ebro (hay algunos proyectos, en este sentido, asociados a la pequeña explotación hidroeléctrica, que resultan, como mínimo, dignos de consideración), y que, además, son susceptibles de ser manejadas adecuadamente en el caso de avenidas o incrementos bruscos del caudal aguas arriba del tramo considerado.

4. EL CAUDAL PARA MÍNIMOS MEDIOAMBIENTALES

En relación a los caudales mínimos medioambientales, el PHN se atiene siempre a los criterios establecidos en el actual Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, en que dicho concepto subsumía el denominado "caudal de compensación" (que atiende solamente a la preservación de los ecosistemas fluviales), además del "hidrológico" (régimen de aportaciones naturales del tramo en cuestión), "sanitario" (en concordancia con los objetivos de calidad), "paisajístico" y otros.

No juzgamos aceptable, a este respecto, las propuestas iniciales en el sentido que, en tanto no estén fijados dichos caudales mínimos, se tendrá en cuenta, con carácter general, un caudal mínimo del 10% de la aportación media interanual y que, cuando el caudal sea superior a los 80 m³/seg. podrá adoptarse, incluso, sólo el 5% del mismo. En cualquier caso, el Plan de cuenca preveía un caudal ecológico mínimo en la desembocadura del río Ebro de 3.153'6 hm³/año (100 m³/seg.), cifra ésta que fue posteriormente recogida en el Plan Hidrológico Nacional del 2001 y que fue objeto de grandes polémicas entre los defensores y los detractores del susodicho Plan.

De hecho, el caudal medio de los 60 años hidráulicos considerados en nuestros estudios (desde el año hidráulico 1913-14 al 1988-89, véase la tabla correspondiente del anexo nº: 1), medido en la estación foronómica 027 de Tortosa es, como ya se ha dicho, de 496 m³/seg. (FRANQUET, 2003), por cuya razón dicho caudal mínimo medioambiental quedaría evaluado, en el caso de adoptar la primera condición restrictiva anterior, en sólo 50 m³/seg.

Más correcto nos parecería el actuar contra la contaminación mediante un aumento de los caudales disponibles para dilución, merced a la aportación artificial de un cierto caudal adicional de una cuantía tal que el caudal global resultante ("caudal de compensación") permitiese el grado de dilución suficiente como para obtener, con suficiente garantía, el objetivo de calidad predeterminado (C2).

Por la misma definición de caudal adicional, su magnitud en cada subtramo del río debería ser función de cuatro factores básicos, a saber:

- El estado actual de la calidad de las aguas del río.
- Los objetivos de calidad que se pretende alcanzar, definidos en dos fases de mejora progresiva asociadas a los usos actuales y futuros que las aguas del río deben satisfacer.
- Las nuevas obras de depuración que se consideren en funcionamiento.
- La garantía que se exige al objetivo de calidad, es decir, la garantía que se considere para los caudales propios del río que van a ser incrementados mediante la aportación adicional.

En relación con este último punto, es evidente que cuanto mayor sea la garantía que se exija al objetivo de calidad, más disminuirá el caudal diluyente propio del río, y por tanto, el caudal adicional aportado deberá ser mayor. Esta "garantía de calidad" resulta de difícil definición, ya que el grado de exigencia puede variar según el uso que el agua deba satisfacer, tanto a nivel de calidad general como en relación con los diversos parámetros que la definen.

En efecto, la garantía de calidad con que debe obtenerse un agua destinada al riego o a la navegabilidad puede ser inferior a la exigida para el abastecimiento público. Asimismo, la garantía con que la concentración de un elemento tóxico (por ejemplo, un metal pesado) debe mantenerse por debajo del máximo tolerado debe ser superior que si se trata de una sustancia con menor incidencia sanitaria, como por ejemplo el anión cloruro, Cl^- (aunque sí, en este caso, de mayor incidencia agronómica).

Ahora bien, para transformar el caudal de compensación en una demanda anual ($\text{hm}^3/\text{año}$) es necesario tener en cuenta el régimen hidrológico de cada río. Es decir, a medida que aumenta el caudal propio del río con un 95% de garantía (en períodos húmedos), el aporte adicional necesario es menor y llega a anularse cuando el flujo circulante es suficiente, por sí solo, para diluir la contaminación vertida hasta los niveles que marca el objetivo de calidad.

Por tanto, la ley de caudales adicionales a lo largo del año, de cuya integración resulta la demanda ecológica, depende directamente de la curva anual de caudales propios del río, que se obtiene en nuestro estudio, con una garantía del 95%. Esta curva varía con las características hidrológicas de cada río; a su vez es variable en un

mismo río según la selección que se considere y depende, además, de la pluviometría anual y de su reparto espacial y temporal. De ahí también la conveniencia de considerar años húmedos, medios o bien secos, tal como propugna el IRTA (2007) en el estudio correspondiente.

Sin embargo, esta complicación intrínseca al cálculo de la demanda ecológica anual puede obviarse con la suficiente exactitud si se tiene en cuenta que los principales problemas de calidad se producen en aquellas corrientes de agua con una hidrología marcadamente torrencial, o bien en las cuencas bajas de ríos más regulares, en zonas de pendiente suave y baja o media pluviometría, como es precisamente el caso del tramo inferior del Ebro.

Desde luego, en el caso del delta del Ebro, espacio natural de extraordinario interés ecológico nacional e internacional, las restricciones operativas anteriores se nos antojan ciertamente escasas, tal como ya ha señalado el Organismo rector del Parque Natural. Concretamente, el artículo 103.4 de la ley de aguas de 1985 establece que "...los Organismos de cuenca y la Administración medioambiental competente coordinarán sus actuaciones para una protección eficaz de las zonas húmedas de interés natural o paisajístico". Así mismo, el artículo 279.4 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico reza que "la Administración controlará particularmente los vertidos y el peligro de disminución de aportación de agua en la zona. En ambos casos se adoptarán las medidas necesarias en orden a preservar la cantidad y calidad de las aguas que afluyen a la zona, todo ello sin perjuicio de las prohibiciones y medidas generales establecidas en la Ley de Aguas", mientras que el artículo 280.1 insiste en los mismos términos del ya mencionado art. 103.4 de la Ley. En este sentido, veamos que dicho artículo dice que "los organismos de cuenca y la Administración medioambiental competente coordinarán sus actuaciones para una protección eficaz de las zonas húmedas de interés natural o paisajístico". (Artículo 111.4 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio).

Veamos, en fin, que el artículo 280.2 del expresado Reglamento (Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas) advierte expresamente que "los organismos de cuenca podrán promover la declaración de determinadas zonas húmedas como de especial interés para su conservación y protección, de acuerdo con la legislación medioambiental" (Artículo 111.5 del mencionado Texto Refundido de la Ley de Aguas).

No es correcto hablar sobre promedios de caudales y volúmenes pues obviamos importantes características de un régimen hidrológico, como momento y variabilidad, o sea, **irregularidad intra e interanual**. Los caudales fluctúan mediante una distribución con probabilidad estadística. El régimen hidrológico de un río como el Ebro tiene periodos de **flujo base** que son los mínimos y temporadas de **riadas** en las cuales el curso del río ocupa un lecho más ancho. Los caudales máximos o extremos de aguas altas pueden inundar vastas áreas en las planicies de las riberas del río. Si esto ocurre con una cierta regularidad estas tierras se denominan **tierras húmedas** (*wetlands*), como es nuestro caso.

Las inundaciones estacionales son importantes para mantener ciertos ecosistemas, tanto por la cantidad del agua como por el momento de la inundación. Sin las inundaciones temporales periódicas de las tierras húmedas muchos animales y plantas estarán en peligro de desaparecer.

El tramo inferior del río Ebro que es objeto de nuestro estudio y determinación de caudales mínimos en el presente Informe, comprendido entre la presa de Flix (comarca de la Ribera d'Ebre en la provincia de Tarragona) que desagua el sistema de embalses Mequinenza - Ribarroja d'Ebre - Flix y la desembocadura deltaica en el mar Mediterráneo, puede verse graficado en la página siguiente:



Fig. 1. Tramo inferior del río Ebro en estudio.

El borrador de la “Documentación previa para el análisis del Plan hidrológico del eje del río Ebro desde el río Martín hasta su desembocadura” (noviembre de 2008) incluye en este tramo diversas masas de agua, a saber:

- Masa nº: 459 Presa de Flix – río Cana
- Masa nº: 460 Río Cana – río Siurana
- Masa nº: 461 Río Siurana – río Sec
- Masa nº: 462 Río Sec – río Canaleta
- Masa nº: 463 Río Canaleta – E. A. 027 (Tortosa)
- Masa nº: 891 E. A. 027 (Tortosa) - Desembocadura

Por otra parte, en dicho tramo del río Ebro desembocan por su margen izquierda el río Cana (21 km. de recorrido), el río Siurana (51 km. de recorrido del río principal) y el barranco de Riera Comte (14 km.) y por la derecha los ríos Sec (32 km.) y Canaleta (37 km.).

En definitiva, como resultado de nuestro estudio (FRANQUET, 2005) consideramos que el caudal de compensación no debe ser en ningún caso inferior a 265 m³/seg. en el subtramo inferior III del río Ebro (aguas de transición), a los que se deben sumar los 45 m³/seg. que circulan por los canales de regadío de ambas márgenes (19 m³/seg. por el izquierdo y 26 m³/seg. por el derecho), con el fin de desarrollar las labores agrícolas y mantener ecológicamente el delta del Ebro, también 8 m³/seg. para el canal Xerta-Sénia y 2 m³/seg. para los riegos de Aldea-Camarles, así como los 4 m³/seg. que determina la ley 18/1981 para el abastecimiento de municipios e industrias de Tarragona (conocido como “minitravase”; de hecho, la citada ley se titulaba “sobre actuaciones en materia de aguas en Tarragona”), lo que totaliza 324 m³/seg. aguas arriba del azud de Xerta-Tivenys (subtramo I). Todas esas cifras resultan ligeramente incrementadas una vez realizada la corrección del mes de agosto a un caudal mínimo de 100 m³/seg, y su especificación definitiva puede verse en la tabla que se acompaña de caudales mínimos. Todo ello exige, en suma, un caudal mínimo de 271 m³/seg. aguas abajo del azud de Xerta-Tivenys (subtramo II) y 265 m³/seg. aguas abajo de la toma del Consorcio de Aguas de Tarragona (CAT) y de la futura toma de los riegos de Aldea-Camarles (situadas ambas aproximadamente entre los perfiles transversales 19 y 23, ver anexo nº: 2), o sea el subtramo III, que justificaremos posteriormente.

5. LOS USOS DEL AGUA Y LOS RECURSOS

Por lo que se refiere a la asignación y reserva de recursos en el tramo inferior, dice el Plan Hidrológico del Ebro que el déficit estimado para toda la cuenca se aproxima a los 300 hm³/año (concretamente 294 hm³/año en la situación actual, que pasa a ser de 236 y de 356 hm³/año en las situaciones futuras), fundamentalmente inducido por la falta de regulación. Este escaso aumento del déficit, a pesar del gran aumento de la demanda a servir, se debe principalmente a las obras de regulación planteadas y a la modulación de los usos hidroeléctricos a las demandas consuntivas. El excedente medio no regulado es sólo del orden de los 9.281 hm³/año (294,3 m³/seg.), cifra que coincide con los estudios y previsiones más optimistas, que se traduce en vertidos al mar Mediterráneo absolutamente necesarios, por cierto, para mantener los ecosistemas marinos que proporcionan riqueza piscícola y marisquera a

la zona litoral⁷. Contrariamente, los vertidos al mar se prevé que disminuyan ostensiblemente (un 34%) en el horizonte 2012.

Es de resaltar, en este punto, la asignación aleatoria -a falta de estudios más específicos- de 100 m³/seg. para el tramo final del río, a la que ya nos hemos referido anteriormente. Este caudal resulta claramente insuficiente basándose en los estudios efectuados sobre la prognosis de aportaciones y de demandas en dicho tramo, remitiéndonos, al respecto, a los estudios del autor del presente Informe y de otros tratadistas (véase bibliografía).

6. LAS DOTACIONES DE AGUA PARA EL DELTA DEL EBRO

6.1. Características generales: situación, superficie y climatología

El delta del Ebro está situado en la costa oriental de España, en el mar Mediterráneo, entre los paralelos 40°38' y 40°48' N y los meridianos 4°16' y 4°34' E. Pertenece a los términos municipales de l'Ampolla, Camarles, Deltebre, Amposta, l'Aldea, Sant Jaume d'Enveja y Sant Carles de la Ràpita, abarcando las comarcas catalanas del *Baix Ebre* y *Montsià*, y todos ellos de la provincia de Tarragona.

Como muestra la figura adjunta, tiene la forma aproximada de un triángulo cuya base, a efectos administrativos, es aproximadamente la Carretera Nacional 340 (Cádiz-Barcelona) y cuyo vértice opuesto, configurado por las Islas de Buda y de San Antonio, se adentra unos 25 km en el mar. De hecho, las últimas terrazas del Cuaternario disminuyen algo más su superficie, que queda perfectamente delimitada desde el punto de vista visual y geomorfológico. El río Ebro cruza su delta de Oeste a Este, dividiéndolo en dos grandes zonas o hemideltas: el septentrional o izquierdo (Norte) y el meridional o derecho (Sur).

La superficie total del delta del Ebro es de 32.059 Ha, que se distribuyen de la forma siguiente:

⁷ La manida expresión de que “el agua de los ríos se pierde en el mar”, tan propia de las concepciones transvasistas y épocas pasadas relacionadas con el pensamiento -en su día pionero- de Joaquín Costa, constituye hoy en día una auténtica antigualla desde el punto de vista científico.

Delta Izquierdo.....11.512 Ha
 Punta Izquierda..... 410 Ha
Total Delta Izquierdo.....11.922 Ha

Delta Derecho.....16.199 Ha
 Punta Derecha..... 2.447 Ha
Total Delta Derecho..... 18.646 Ha
 TOTAL PARCIAL..... 30.568 Ha
 Isla de Buda.....1.231 Ha
 Isla de Gracia..... 123 Ha
 Isla de S. Antonio..... 133 Ha
 Isla de S. Diego..... 4 Ha
Total Islas..... 1.491 Ha

TOTAL DELTA DEL EBRO.....32.059 Ha

El clima de esta zona es benigno. Así, por ejemplo, se observa que en 1965 las temperaturas fueron de 5'0°C en enero de mínima y 30'4°C en agosto de máxima, siendo la media anual de 16'9°C.

Examinando los datos del cuatrienio de una larga serie histórica o cronológica, se ve que la mínima fue de 6'4°C y la máxima de 35'3°C, siendo la media aproximada de horas de sol del orden de 1.130 desde los meses de mayo a agosto, ambos inclusive, con la siguiente insolación relativa: mayo (58%), junio (63%), julio (68%) y agosto (66%). Se trata, pues de un clima perfectamente apropiado para el cultivo de la práctica totalidad de hortalizas, forrajeras, pratenses, cereales, frutales tempranos y, en general, toda la extensa gama de cultivos mediterráneos, incluyendo, muy especialmente, el arroz. También resulta adecuado para el establecimiento de piscifactorías extensivas e intensivas.

La pluviometría, por datos observados desde 1930 a 1961, se cifra en una media anual de 506'8 mm (l/m²), habiéndose registrado la mínima en 1931 con 258 mm y la máxima en 1936 con 903 mm. No obstante, para una serie cronológica suficientemente larga y representativa, la pluviometría media anual resultó ser de 488'1 mm.

A lo largo de un período de 25 años, la presión atmosférica media ha resultado ser de 758'5 mm Hg, con medias anuales extremas de 757'4 y 759'8 mm Hg, media mensual más alta de 761'0 mm Hg en enero, media mensual más baja en abril con 750'0 mm Hg, y valores aislados extremos de 777'5 y 721'4 mm Hg.

Aparte del típico levante, propio de los países mediterráneos, el viento que sopla con mayor intensidad (si bien con menos frecuencia) es el de componente NW ("vent de dalt", "mestral" o cierzo), propio del valle del Ebro.

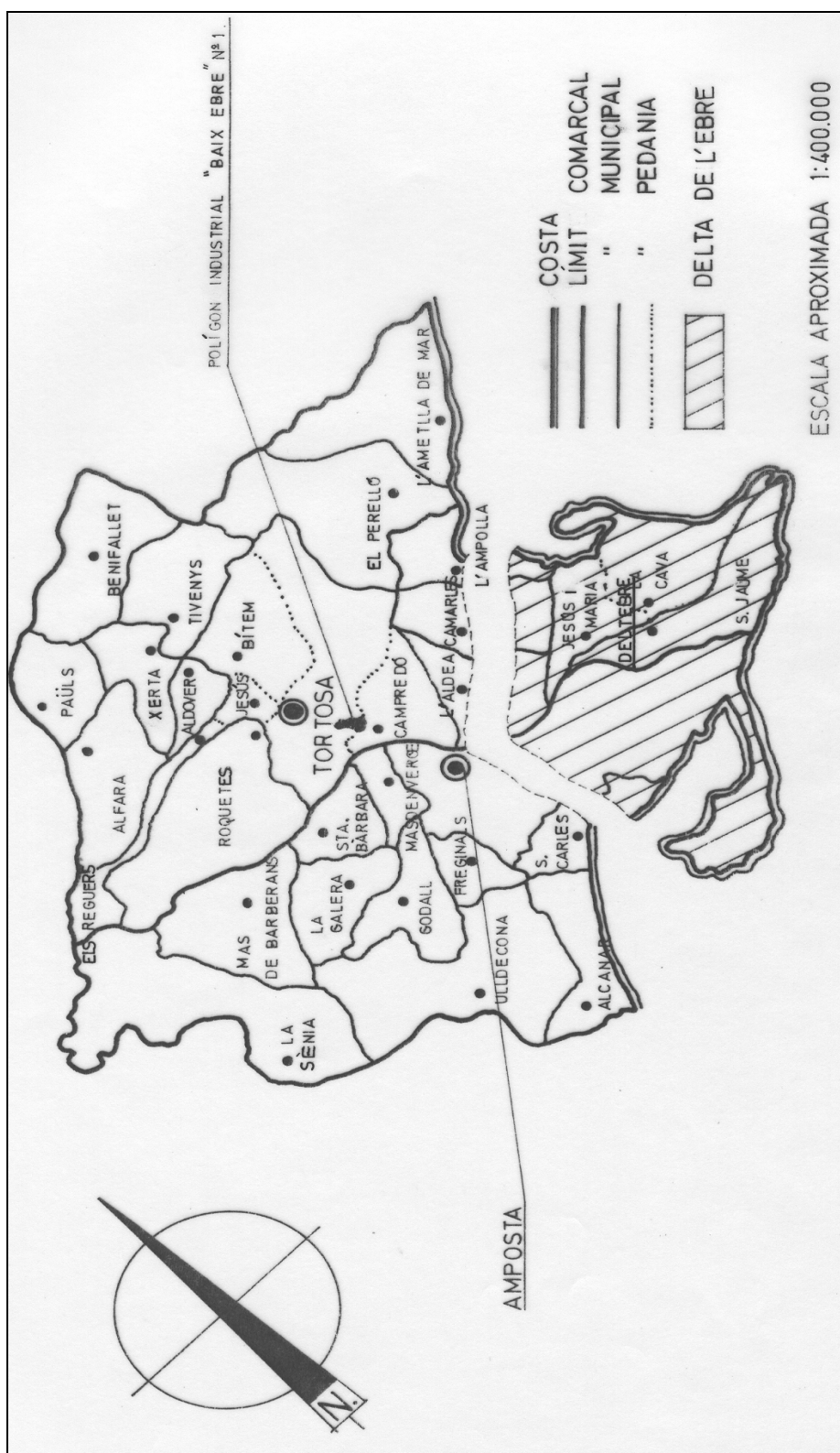


Figura 2. El delta del Ebro entre las comarcas del "Baix Ebre" y "Montsià".

Para el período anterior, podemos considerar los siguientes valores:

- Velocidad media máxima: 102 km/h
- Recorrido máximo en 24 h: 1.782 km
- Recorrido mínimo en 24 h: 8 km
- Recorrido diverso medio: 359 km
- Meses más ventosos: enero, marzo y diciembre

Las horas en que sopla más el viento suelen ser las de la mañana, con mayor calma alrededor del mediodía.

Otros datos interesantes son los siguientes:

- Nebulosidad media: 3'9.
- Valores anuales extremos (nebulosidad): 3'4 y 4'5.
- Meses más despejados: enero y julio.

En cuanto a la evaporación, podemos consignar los siguientes datos:

- Promedio del período: 4'1 mm/día
- Promedio anual más alto: 4'8 mm/día
- Promedio anual más bajo: 3'5 mm/día,

siendo julio el mes de evaporación máxima y diciembre el de evaporación mínima.

La humedad relativa, por último, alcanzó un valor medio del 69%, con medias anuales extremas del 76% y 61%, siendo septiembre y octubre los meses más húmedos y abril el más seco.

6.2. Los caudales para riego

El delta del Ebro⁸ es una zona húmeda de categoría internacional. Sus 320 km² constituyen el hábitat acuático más importante del Mediterráneo Occidental después de la Camargue francesa y el segundo de España, después del Parque Nacional de Doñana. Su considerable papel biológico contrasta con la profunda humanización de una gran parte de su superficie y con su no menos considerable peso agrícola.

La Generalitat de Cataluña creó, por un Decreto del año 1983, ratificado y ampliado en 1986, un Parque Natural que ocupa parte de su territorio (concretamente 7.736 ha, de las cuales 3.979 ha corresponden a la comarca del Montsià y 3.757 ha a la del Baix Ebre), y que comprende las lagunas de les Olles, el Canal Vell, el Garxal, l'Alfaceda,

⁸ Vide José Ma. Franquet Bernis, "Con el agua al cuello, 55 respuestas al Plan Hidrológico Nacional" Ed. Littera Books, S.L. Barcelona, 2001.

la Platjola, la Tancada y l'Encanyissada, las islas de Buda, Sant Antoni y Sapinya, las penínsulas de la Punta de la Banya y del Fangar, los *ullals* de Baltasar y los yermos de Casablanca. Conviven en él 515 especies vegetales, algunas de ellas exóticas, repartidas en los ambientes de los salobrales o sosares, los cañizares, el bosque de ribera, los arrozales y los arenales. La diversidad de hábitats y el clima húmedo y templado propician la presencia de multitud de invertebrados destacando, de la herpetofauna, las numerosas serpientes de agua. La avifauna es la más característica y su importancia cualitativa y cuantitativa sobrepasa, con mucho, el ámbito estrictamente local, por lo que en diversas convenciones aparece como zona del máximo interés por las colonias de cría de anátidas, limícolas y aves marinas así como por el paso de las aves migratorias hivernantes.

El cultivo del arroz es, ecológicamente hablando, uno de los usos agrícolas más compatibles con el medioambiente. Su inundabilidad hace que se convierta en un auténtico “almacén” de especies acuáticas, plantas e invertebrados en general, así como en una exquisita despensa que atrae a distintos tipos de aves. Sin embargo, no sólo se trata de beneficios al medioambiente lo que actualmente produce el arroz. El cultivo en sí apenas produce daños, aunque el uso actual que de él se hace está produciendo algunos. La intensificación de la producción, como consecuencia del incremento de la demanda, ha aumentado el uso de fertilizantes y pesticidas, haciendo del cultivo del arroz uno de los principales contaminantes de algunas zonas agrícolas especialmente sensibles.

La importancia de estos ecosistemas y su regresión en las últimas décadas llevó a crear en 1962 una lista de humedales de importancia internacional para posteriormente, en 1971, firmar un convenio a este respecto, fruto de las conversaciones mantenidas en la Conferencia Internacional sobre la Conservación de Zonas Húmedas y Aves Acuáticas en Ramsar (Irán). En él se incluían los humedales españoles. Por tanto, todas las cuestiones que se suscitan en torno a estos ecosistemas y sus usos tienen como fondo el mantenimiento y la mejora de las condiciones ecológicas.

El arroz, aunque fruto de la intervención del hombre, es un cultivo cuyas especiales condiciones permiten su compatibilidad con el equilibrio ecológico que requiere la flora y fauna de los humedales. Es su necesidad de permanecer inundado buena parte del año, lo que convierte al arroz en un aliado ecológico, aunque dicha circunstancia es también lo que encarece su producción. Tras la inundación, comienza la regeneración de las comunidades biológicas acuáticas, la mayoría de ellas adaptadas a los períodos del arroz. Así, pocos días después de

introducida el agua en los campos, empiezan a aparecer las primeras plantas y animales invertebrados y se inicia la cadena que culmina con las aves. Éstas deben el 90% de sus recursos alimenticios al arrozal. El ciclo de inundaciones del arroz comienza en el mes de abril, en que se inunda el arrozal para que se sedimente, permanece inundado durante el cultivo hasta finales de agosto para comenzar la siega durante septiembre y luego se mantiene inundado desde noviembre hasta mediados de enero aproximadamente.

La "Propuesta Técnica de Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro", en la forma que se redactó en su día, podía ser lesiva para la economía del Delta y por tanto totalmente negativa para las gentes que en él y de él viven, en la medida en que tendía a la reducción de los caudales que se están utilizando y que son imprescindibles para su supervivencia.

En esta propuesta se hacían detalladas consideraciones, zona por zona y para cada Junta de Explotación, constatando su estado actual y las necesidades de demanda, en base a lo cual se proponían grandes obras de infraestructura, tanto para mejorar lo existente como para establecer miles de hectáreas de nuevos regadíos, en terrenos con altas concentraciones salinas, que en muchos casos, como ya se ha señalado, pueden producir trastornos gravemente perjudiciales para las aguas del río.

Cabe traslucir, incluso, un claro objetivo de reducir, los supuestos "excesivos caudales que se consumen en el Delta"; pero es que además, no se refleja la realidad actual en cuanto a los consumos que viene ejerciendo el Delta desde muy antiguo.

Tampoco puede admitirse que a través de la revisión del Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro se pretendan imponer ideas teorizantes, totalmente inaceptables para el sensible sistema deltaico, **con el único objetivo de reducir el consumo de agua en una zona que tradicionalmente la viene utilizando**, y en donde la economía y la vida de sus gentes está basada en la utilización correcta de estas aguas.

Todos los nuevos planes, basados lógicamente en una buena regulación de cada uno de los recursos posibles de la Cuenca, con seguridad podrían perjudicar los intereses del Bajo Ebro, tanto por la derivación de importantes caudales, como por la perniciosidad de los retornos que, con gran concentración de sales, podrían deteriorar la calidad de las aguas del tramo final que es objeto de nuestro estudio a los efectos de la determinación de sus caudales mínimos medioambientales.

En efecto, el agua, a través de la red de canales de riego, en primer lugar se distribuye capilarmente a los arrozales, que constituyen el único cultivo posible actualmente, dado el bajo nivel taquimétrico de los terrenos respecto al mar, cuya influencia mantiene un nivel freático alto, con un exceso de sales difíciles de contener sin un tirante o calado de agua conveniente.

Por ello actualmente ningún otro cultivo que no sea el arroz (*Oryza sativa*, L.) puede desarrollarse con garantía de continuidad, habida cuenta de su característica específica de cultivo a plena inundación. Y esta permanente inundación del campo arrozal (que tolera perfectamente su sistema radicular) precisa de un caudal continuo entrando en la parcela de cultivo, que es imprescindible se filtre en profundidad hasta el nivel freático para contrarrestar eficazmente la subida de la salinidad; y también resulta imprescindible que se vierta en parte horizontalmente hacia el desagüe, al objeto de producir una necesaria renovación del agua que garantice la sanidad agrícola del cultivo, ya que sería totalmente pernicioso para éste, en el Delta, mantener el arrozal con aguas estancadas sin renovación, tanto por razones de temperatura como de concentración de diversos elementos químicos orgánicos e inorgánicos. Como también se ha comprobado altamente perjudicial e inaceptable, que las parcelas del arrozal no tengan una cota superior suficiente sobre la lámina de agua de los desagües para permitir la filtración hacia el subsuelo, cuestión ésta que resulta imprescindible para contrarrestar el alto grado de salinidad del mismo y posibilitar un permanente lavado, lixiviación o saneamiento del suelo de cultivo.

Las experiencias de cultivo arrozal en el Delta vienen ya realizándose desde el año 1850 y a pesar de que, con el paso de los años, se han venido modernizando continuamente las técnicas de cultivo, tanto en las diversas operaciones como en la maquinaria utilizada, en ningún caso ha sido conveniente reducir la dotación de agua, y se tiene muy claro y comprobado que un aumento del volumen de agua circulante en las parcelas mejora significativamente los rendimientos unitarios de grano.

6.3. El abastecimiento del parque natural

Como ya se ha dicho, el Delta es una Zona húmeda de categoría Internacional con un Parque Natural que ocupa parte de su territorio, y que constituye un conjunto con funcionamiento equilibrado en cuanto al movimiento y control de sus aguas, tanto para el riego estacional de los arrozales, como para el mantenimiento de los mismos inundados en invierno, como para el manejo de las aguas en todas sus redes de desagüe que se hallan conectadas, en un sinfín de puntos, con las lagunas y cañizares del Parque Natural. Con ello se mantiene un control

adecuado, tanto de la circulación de las aguas como de los niveles más convenientes para el cultivo agrícola y para el ecosistema de las lagunas, en las que ya se han abierto, en los últimos años, varios puntos de entrada de agua procedente de los canales con un control dirigido por compuertas, algunas de ellas en los desagües, de funcionamiento automático. Si bien la dirección y control de las aguas de riego así como las circulantes por la red de desagües está en manos de las Comunidades de Regantes de ambas márgenes (la Comunidad General de Regantes del Canal de la Derecha del Ebro y la Comunidad General de Regantes-Sindicato Agrícola del Ebro), deberá existir cada vez más una buena relación de gestión y colaboración entre todas las partes implicadas para beneficiar el delicado equilibrio del ecosistema deltaico, sin perjudicar a ninguno de los legítimos intereses que han de convivir en él.

6.4. El mantenimiento del bosque de ribera (*Populetalia albae*)

Del denso bosque de caducifolios que acompañaba primitivamente el curso del río Ebro ocupando una amplia franja de su ribera, únicamente quedan en la actualidad pequeños fragmentos estrechos y aislados.

Este bosque se encuentra bastante desestructurado. Está formado mayoritariamente por álamos (*Populus alba*), acompañados de sauces (*Salix alba*), y algún tamarindo (*Tamarix sp.*), fresno (*Fraxinus angustifolia*) y olmo (*Ulmus minor*). También se encuentran árboles de carácter subespontáneo como los chopos (*Populus nigra*) o los plátanos de sombra (*Platanus hybrida*). En el bajo bosque puede encontrarse el zarzal (*Rubus sp.*) y la madreselva valenciana (*Lonicera biflora*), especie que se encuentra aquí en su límite septentrional de distribución geográfica. El estado degradado de esta comunidad vegetal provoca que entre los árboles y los alrededores de los tramos de bosque se encuentre la caña (*Arundo donax*).

La gran degradación que presenta actualmente el bosque de ribera se debe a que su vegetación ocupaba los suelos francos de las riberas del río. Estos suelos son los más fértiles, por encontrarse en su composición un buen equilibrio granulométrico entre arcillas, limos y arenas. Tienen, además, un nivel freático elevado, lo que les proporciona una humedad constante, y reciben aportaciones orgánicas por parte del río, que suministra también el nitrógeno y el fósforo necesarios para el crecimiento vegetal. Por ello, son los terrenos más apreciados para la agricultura. La ocupación de las márgenes del río para instalar cultivos de regadío constituye, sin duda, la principal causa de la desaparición del bosque de ribera.

Se ha de destacar la importancia de esta vegetación de cara a las actividades antrópicas, ya que un bosque bien formado sirve para sujetar los márgenes del río, evitando su erosión por el agua. También en caso de fuertes avenidas, el bosque absorbe gran parte del agua que baja por el río, al mismo tiempo que sirve de filtro y retención de los materiales más gruesos que lleva la avenida.

Se trata de un hábitat forestal caducifolio, muy utilizado por los animales como refugio. Destaca por su riqueza ornitológica, donde pueden encontrarse, incluso en el interior del continente, especies procedentes del delta del Ebro. Así encontramos boscarlas de cañizal (*Acrocephalus scirpaceus*), cormoranes (*Phalacrocorax carbo*), martín pescador (*Alcedo attis*)... También viven aves rapaces nocturnas como el autillo (*Otus scops*) o la lechuza (*Tyto alba*). Entre los mamíferos destacan los de pequeñas dimensiones, como las ratas (*Rattus rattus*, *R. norvegicus*), los ratones (*Apodemus sylvaticus*, *Mus musculus*) y en los árboles más viejos se pueden encontrar algunos murciélagos (*Pipistrellus pipistrellus*). También lo habitan adultos de rana (*Rana perezzi*) y serpientes de agua (*Natrix maura*, *N. natrix*).

Este valioso hábitat se halla incluido, como hábitat de interés comunitario, en la Directiva 92/43/CEE, como “Bosques de galería de *Salix alba* y *Populus Alba*”, con el código 92A0 de la red “Natura 2000”⁹.

7. LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LAS GRANDES INFRAESTRUCTURAS BÁSICAS PREVISTAS

Cabe destacar, en primer lugar, la previsión de embalses cuya construcción se proyecta en toda la Cuenca, tanto por lo que se refiere a obras de nueva ejecución o ampliación, incluyendo presas de nueva planta, recrecimientos y algunas otras actuaciones menores, sin que, en contraposición, aparezca mención clara y expresa a los estudios obligados de impacto medioambiental y concretamente, a los efectos directos sobre la regresión geomorfológica de las zonas aluviales como el delta del Ebro.

La concepción y evaluación de los proyectos de embalses y, en general, de las grandes obras hidráulicas de superficie se apoyaban, hasta sólo hace unos decenios, en criterios exclusivos de factibilidad técnica y rentabilidad económica, obviándose los efectos que pudieran ser considerados como contraproducentes. La experiencia de las obras

⁹ **Natura 2000** es una red ecológica europea de áreas de conservación de la biodiversidad. Consta de Zonas Especiales de Conservación designadas de acuerdo con la Directiva Hábitat, así como de Zonas de Especial Protección para las Aves establecidas en virtud de la Directiva Aves. Su finalidad es la de asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies y los hábitats más amenazados de Europa, contribuyendo a detener la pérdida de biodiversidad ocasionada por el impacto adverso de las actividades humanas. Es el principal instrumento para la conservación de la naturaleza en la Unión Europea.

importantes que se han venido ejecutando hasta la fecha en todo el mundo indica que algunas de ellas han producido efectos muy perjudiciales, totalmente imprevistos en la elaboración de los proyectos técnicos e igualmente ignorados a la hora de evaluarlos.

Podríamos recordar otros muchos proyectos hidráulicos del pasado inmediato que se concibieron y evaluaron sin tener en cuenta más que el objetivo primario para el que fueron concebidos, con notorio olvido de las consecuencias medioambientales y los efectos negativos originados por las obras.

Hay que reconocer que, si se aceptan premisas económicas muy simples, los resultados de una obra con una sola finalidad, sobre todo si ésta es muy productiva, parecen más convincentes que si se destina a usos diversos. Pero la realidad no suele amoldarse a estos esquemas tan sencillos. El uso del agua es siempre múltiple y su distribución entre las diferentes funciones a que puede destinarse, y entre las regiones a las que puede beneficiar, debe ser objeto de muchas investigaciones y consultas, así como de un planeamiento cuidadoso.

Afortunadamente, los proyectos de obras hidráulicas se están elaborando y evaluando cada vez con más cuidado y más amplia visión, en todo el mundo. Pero todavía quedan planes y proyectos hidráulicos muy importantes concebidos e iniciados en el pasado que, como ocurre en nuestro país, siguen vigentes en la realidad y en el pensamiento hidráulico de políticos y técnicos, que necesitan una revisión a fondo de los mismos.

8. LOS RESTANTES PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES DEL TRAMO INFERIOR DEL EBRO

8.1. La regresión geomorfológica del delta del Ebro

Es innegable que, de todas las zonas afectadas por la detracción de aguas del Ebro para cualquier tipo de uso, las únicas sobre las que esta detracción tiene un efecto inmediato son aquellas que quedan aguas abajo del punto de captación.

Sin entrar en mayores especificaciones técnicas, señalemos que el sistema Mequinenza-Ribarroja-Flix impide el paso al 96% de los sólidos, según un estudio ya realizado -utilizando la técnica de aforo de sólidos- por el Centro de Estudios Hidrográficos.

En cuanto a la evolución actual del Delta, según Terán y Solé (1968), su punta avanzaba unos diez metros anuales hasta que, desde el año 1946 ha retrocedido ya cerca de 2'0 km. Aquella fecha coincide

sensiblemente con el embalse de los ríos pirenaicos para la regulación y producción de energía eléctrica.

La elevación taquimétrica del delta del Ebro sobre el mar Mediterráneo no es sostenible. La tierra está hundiéndose y el agua del mar destruirá los humedales de agua salobre y toda la agricultura. El delta del Ebro fue creado artificialmente hace aproximadamente 500 años por un suministro constante pero insostenible de arena proveniente de la catastrófica erosión en el drenaje superior. La tala de árboles para la construcción naval y la agricultura en la cuenca del Ebro, a lo largo de varios siglos, fue la razón básica de la erosión. No se está añadiendo ahora ningún sedimento al delta debido a la construcción de presas y a la repoblación forestal. Una manera paradójica de considerar la sostenibilidad sería permitir que el delta desaparezca, ya que no era sostenible originariamente. Sin embargo, debido a otras pérdidas, el delta del Ebro tiene ahora un potencial humano, económico, fáunico y florístico tan irremplazable que la continuación de su existencia debería ser parte principal en cualquier plan ecológico.

La esencia de la preocupación por el delta del Ebro es que dicho delta puede dejar de existir en los próximos 100 años debido a una combinación malévola del hundimiento de la tierra (subsistencia) y el aumento del nivel del mar (constatado en los últimos tiempos). La tierra está hundiéndose lentamente a un promedio de aproximadamente 1 mm./año mientras que el mar se está incrementando en alrededor de 2-3 mm./año. Desafortunadamente, antes de que la tierra esté totalmente inundada, numerosos daños ecológicos y agrícolas se sucederán en las áreas más bajas o más vulnerables. La región agrícola es más sensible a las inundaciones marinas, puesto que la sal debe lavarse del suelo después de cada inundación. También en el delta principal de California, los suelos orgánicos se están oxidando y hundiendo. Algunos campos de cultivo, en el delta del río Sacramento de California, han sido abandonados y permanecen inundados permanentemente, aunque con agua dulce¹⁰.

Del análisis del primer estudio citado, se deduce que: a) el volumen medio anual sedimentado en el complejo Mequinenza-Ribarroja es del orden de 7.000.000 m³, y b) los sólidos en suspensión, que rebasan el embalse de Ribarroja, alcanzan un valor medio anual de sólo 333.000 Tm. Comparando este dato con los volúmenes sedimentados anualmente en el conjunto Mequinenza-Ribarroja, que son del orden de 8.800.000 Tm., ello implica un coeficiente de retención de sedimentos del 96'35%, elevadísimo, como era de temer. En la actualidad, escasamente llegan al delta del Ebro unas 150.000 t/año.

¹⁰ Vide Informe Berkeley. Citado en la bibliografía.

Preocupan especialmente, en este sentido, los embalses cuya construcción se prevé en toda la cuenca del Ebro, como ya hemos señalado anteriormente. La creación y explotación de las grandes presas-depósitos va a regular los caudales y reducir la frecuencia y los volúmenes máximos de las crecidas, **pero la aportación sólida quedará prácticamente anulada, con todos los efectos negativos que ello supone.**

8.2. El aumento de la salinidad de las aguas en el tramo inferior del Ebro

8.2.1. Como consecuencia de la disminución de caudal

El entorno deltaico está saturado de aguas salinas o salobres en equilibrio con la entrada subterránea de agua dulce procedente de las planas litorales próximas y con la carga superficial del agua de riego que se introduce por los canales de la derecha y de la izquierda del Ebro. Las acequias Paralela (hemidelta derecho o meridional) y Sanitaria (hemidelta izquierdo o septentrional) rompen principalmente el gradiente de recarga subterránea generando importantes descargas. Los aumentos de flujo en estos drenajes resultan, según lo expuesto, especialmente problemáticos. En este sentido cabe citar la conexión existente entre algunos otros drenajes naturales de aguas subterráneas dulces (área de los Ullals de Baltasar, próxima a la ciudad de Amposta) y los drenajes de los riegos que son bombeados en las estaciones periféricas del delta, provistas de tornillos de Arquímedes; ello da lugar al consiguiente favorecimiento de la extensión del agua salina y a bombear más agua de la necesaria para lograr los drenajes.

Sabido es que el problema de la salinidad se presenta por el avance de la corriente de agua marina en sentido contrario a la fluvial, que a su paso va llenando fosas del lecho del río, perfectamente apreciables del estudio de su perfil longitudinal. Como el agua salada es más densa que la dulce, esta corriente avanza en dirección ascendente por el fondo, en forma de cuña. Si las aguas están tranquilas, puede apreciarse cómo existen estas dos capas, la superior de agua dulce y la inferior de agua salobre, e incluso una intermedia o de transición. En cambio, en aguas turbulentas, se produce la mezcla de ambas, notándose una salobridad media de toda la sección.

Ahora bien, para que la cuña salina progrese es necesario que el caudal del río sea insuficiente como para impedir el avance de la corriente marina. Así, en período de avenidas, la cuña salina retrocede hasta prácticamente la desembocadura, mientras que en los estiajes avanza hasta adentrarse a distancias considerables de la costa, pudiendo llegar en la actualidad a rebasar la localidad de Campredó, en

condiciones desfavorables de bajo caudal en el río, aumento de la cota de nivel del mar, vientos de Levante, etc.

Por el contrario, es reducida la superficie del mar afectada por el agua dulce del río en la desembocadura, no observándose variación alguna de la salinidad del agua marina a más de 6 km de aquélla ni en profundidades superiores a los 10 metros.

El avance de la corriente salina bajo la fluvial, ya comentado y descrito, produce infiltración en las tierras contiguas y, tras la posterior evaporación, la salinización del suelo, de nefastas implicaciones para los cultivos. En condiciones de caudal medio y alto, con valores de 650 m³/seg., superiores al módulo medio del siglo (que no alcanza los 500 m³/seg.), el río entra literalmente en el mar y no se desarrolla la cuña marina. Las condiciones de estuario se presentan en el río Ebro con caudales inferiores a los 400-500 m³/seg. A medida que disminuye el caudal la cuña marina penetra paulatinamente tierra adentro. Con caudales en torno a los 200 m³/seg. el límite superior de la cuña marina se sitúa en la Isla de Gracia, a 17 km. de la desembocadura. Con caudales menores, del orden de 100 m³/seg. (justamente el previsto como caudal mínimo en la desembocadura por el actual PHC), la cuña marina alcanza Amposta y, durante los grandes estiajes, 30-50 m³/seg., se ha señalado la presencia de la cuña salina hasta Campredó e incluso más cerca de Tortosa. Todos estos caudales se deben de entender como orientativos, puesto que para determinar con mayor exactitud la penetración de la cuña marina ha de tenerse en cuenta la actuación de las mareas y la propia morfología o batimetría del río, parte de la cual puede verse en el anexo 2.

La cuña salina en el delta de Ebro se forma donde el agua dulce - de menor densidad- pasa o transcurre sobre el agua del mar más densa. Al llegar a este punto, la floculación de las partículas orgánicas llevadas hacia abajo por el río viene causada por el alto contenido de cationes (iones cargados positivamente, tales como el sodio o el magnesio) del agua de mar. Las partículas orgánicas floculadas constituyen un alimento valioso para algunos organismos acuáticos y no se barren hacia al mar junto con el resto del agua de río, debido a la remoción alternativa hacia adelante y hacia atrás de los flujos y sentidos cambiantes que caracterizan los estuarios. Otras partículas vivas, tales como fitoplancton, zooplancton y pequeños peces se aprovechan de este refugio rico de comida estable, que es típicamente la región más productiva del estuario. La cuña salina es naturalmente eutrófica, pero puede llegar a ser sobre-eutrófica con la adición de nutrientes, especialmente nitratos procedentes de las escorrentías agrícolas y pecuarias. Si la anoxia ocurre debido al agotamiento de oxígeno por el decaimiento de floraciones excesivas de las algas, se reduce mucho el valor biológico de la cuña salina.

La situación de la cuña salina también determina su valor biológico al ecosistema. Sin embargo, no es la distancia desde el mar, a nuestro juicio, la que resulta crítica, tal como se sugiere a veces en la documentación existente sobre el Ebro. La producción máxima de la cuña salina ocurre cuando está situada en una zona poca profunda y amplia en donde la producción de algas no está limitada por la luz del sol o el espacio. No está claro donde se produce esta situación en el Ebro, o si la maximización de la producción es el único objetivo para la cuña salina. En California, por ejemplo, la cuña salina del río Sacramento se gestiona para maximizar la producción en la bahía Suisun, aunque no sea ésta una zona de interés histórico natural ni tampoco el paraje más cercano al océano. La descarga natural de Sacramento-San Joaquín es dos veces mayor que la del Ebro y el mantenimiento artificial de la cuña salina beneficia la productividad del estuario de la bahía Suisun, pero también trae consigo una considerable pérdida de la producción agrícola, especialmente en los años secos. La situación de cualquier cuña salina en los canales profundos, sobre todo río arriba, generalmente reduce su valor ecológico. La situación de la cuña salina en el océano, como por ejemplo en el río Amazonas, trae consigo una productividad que es menor que la de un ecosistema de agua baja¹¹.

Pues bien, como consecuencia del conjunto de actuaciones proyectadas en toda la Cuenca y la consecuente disminución del caudal medio en el tramo inferior del río, puede deducirse que, en general, la "cuña" salada será menos frecuentemente expulsada hacia el mar, que ascenderá aún más hacia el interior, que el espesor superficial de agua dulce en el cauce del río será más débil y también los niveles de agua más bajos.

También cabría analizar las consecuencias de estas modificaciones del régimen fluvial en la salinidad de los terrenos deltaicos. En efecto, la disminución de la profundidad de la capa freática, con la ascensión capilar y evaporación subsiguientes, puede ser hasta cierto punto compensada por la infiltración de las aguas del río en condiciones para alimentar esta capa, en la estación seca. La intensidad y la extensión de esta infiltración pueden ser muy débiles o notables según las permeabilidades de los terrenos, las pérdidas por evaporación, la compensación por las aguas de irrigación, el drenaje, etc. De todos modos, es necesario para terrenos agrícolas sin límite de utilización en el tiempo, que el balance de eliminación de la sal sea positivo. Ahora bien, si la ascensión de la cuña salada fuera más notoria y frecuente, el efecto producido sobre este balance no sería, precisamente, de sentido positivo.

Es cierto, salvo condiciones muy especiales, que los factores más importantes en este balance son las aportaciones de agua dulce de los

¹¹ Vide Informe Berkeley. Citado en la bibliografía.

riegos y el drenaje. Es seguro, también, que los arrozales, que permanecen inundados mucho tiempo en el ciclo anual, constituyen un factor de desalinización que sobrepasa con mucho todos los otros y que, en estas condiciones, los efectos de la cuña salada pueden ser despreciables. **Por esta fundamental razón, la dotación unitaria de agua de riego a los arrozales no cabe, en ningún caso, considerarla excesiva**, habida cuenta de la doble función que desarrolla: necesidades de evapotranspiración de la planta y mantenimiento de las aguas salinas a una profundidad conveniente.

De haber tenido lugar, en la Cuenca, las actuaciones previstas o sugeridas de detracción de agua, relacionadas en el Anexo II de la Ley 10/2001 de 5 de julio del PHN, que fueron posteriormente derogadas, la aportación de agua dulce sobre los terrenos hubiera sido, entonces, mucho más débil e intermitente que en la actualidad. Esto podía aumentar la introducción de sal por la cuña salada del río y este factor, que era verosímilmente de escasa o nula importancia antes, puede, en condiciones favorables, adquirir mucha mayor entidad.

8.2.2. Como consecuencia del menor grado de dilución

Los datos que manejaremos aquí son los propios de la Red de Control de Calidad del Agua de la Comisaría de Aguas del Ebro, habiéndose escogido la estación de Ascó (nº: 63) y la de Tortosa (nº: 27). En líneas generales, puede decirse que el río Ebro, al discurrir por una cuenca sedimentaria con depósitos salinos, posee un contenido salobre importante si la comparamos con otras cuencas de similar latitud geográfica. El tramo inferior del Ebro tiene tendencia a salinizarse a razón de 10 a 15 mgrs./litro (p.p.m.) y año, lo cual resulta preocupante, ya que en un lapso de sólo 50 años podría llegar a duplicarse el contenido salino actual. Precisamente, entre las causas de este problema ocupan un lugar importante los desagües de las zonas regables recientemente transformadas ("Balance hidrosalino de la cuenca del Ebro", F. Alberto & R. Aragües, 1985). A la vista de las cuantiosas actuaciones previstas en el PHN en relación a la cuenca hidrográfica del Ebro (lo que se ha venido denominando el "Pacto del Agua de Aragón") en relación a las transformaciones en regadío a realizar en los próximos años, es de esperar que continúe este proceso de degradación de la calidad a una tasa anual, incluso, superior a la detectada hasta la fecha.

En base a los proyecciones efectuadas en aquellos estudios, partiendo de valores para el año 1990 de 591'6 mgrs/litro (total de sales disueltas) y una conductividad eléctrica, expresada a 25°C, de 898 μ mhos/cm., podían, como mínimo, fácilmente alcanzarse los 641'6 mgrs/litro y 1.064 μ mhos/cm. en el año 2000, y 741'6 mgrs/litro y 1.230 μ mhos/cm. en el año 2010. Estos valores comienzan a hacer dudosa la

aplicabilidad de estas aguas para fines de regadío y otros usos consuntivos.

Llegados a este punto, resulta curioso constatar las predicciones a las que nos hemos venido refiriendo con los controles de calidad del recurso que lleva periódicamente a cabo el Organismo de Cuenca, pudiéndose comprobar el alarmante grado de verosimilitud de aquellas predicciones con relación a los valores realmente observados. Desde la página *web* de la Confederación Hidrográfica del Ebro es posible acceder a los resultados de los análisis realizados en el Laboratorio de Calidad de Aguas sobre las muestras de la red ICA (tanto de aguas superficiales como subterráneas). Los resultados de aguas superficiales se han separado en históricos (hasta finales del año 2001) y en actuales (desde enero de 2002), estando la conductividad expresada, en este caso, a una temperatura de 20°C.

Con ello se realiza un control sistemático de la calidad físico-química y microbiológica de las aguas superficiales en la cuenca hidrográfica del río Ebro. Estos controles se plasman en la realización de muestreos mensuales sobre una red de puntos fijos -red ICA de aguas superficiales-, para los que se efectúan medidas *in situ* y determinaciones analíticas en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Confederación. Se adjunta en la *web* mencionada el listado correspondiente de los puntos de muestreo de la red.

8.3. La alteración del equilibrio ecológico

Cuanto mayores son los estudios que se realizan para aumentar el conocimiento sobre el delta del Ebro en todas las disciplinas científicas, más se confirma la importancia trascendental de este singular espacio natural que se halla afecto al subtramo III del tramo inferior del río Ebro que es objeto de nuestro trabajo.

La riqueza botánica del delta del Ebro, sin duda menos popularizada que la avifaunística, no por ello deja de ser formidable. La amplia diversidad en el grado de salinidad de los suelos, en gradual transición desde las fertilísimas tierras cercanas a las riberas del río hasta las plenamente salobres que conforman la periferia deltaica, próxima al mar, da lugar, entre otros factores, a una vegetación diversa y singular. Ello viene incrementado por el hecho de tratarse de una zona fronteriza en la que muchas plantas típicas de áreas más septentrionales encuentran su límite meridional, al tiempo que otras más propias de tierras del sur se hallan aquí en el extremo más norteño de su área de distribución.

En definitiva, el delta del Ebro constituye una de las zonas más interesantes de toda Europa en lo que se refiere a vegetación salobre, mientras que en ningún otro lugar de Cataluña podemos encontrar una muestra tan extensa y notable de vegetación propia del litoral marino. Por citar solamente un ejemplo concreto, las islas de Buda y de San Antonio y la Punta de la Banya constituyen los únicos enclaves, de todo el continente europeo, en los que vive la "sosa de flor" (*Zypophillum album*), una planta propia del desierto del Sahara.

Ya en el terreno faunístico, lo mismo que podemos decir en cuanto a las aves, puede afirmarse también, y con igual rotundidad, en lo referente a los peces. Es decir, que en los humedales del delta del Ebro se halla la comunidad de esta clase animal más diversa del litoral mediterráneo. Concretamente, son más de 40 las especies de peces que viven en las aguas continentales del delta, una cifra muy superior a la que podemos encontrar en cualquier otro lugar del Levante.

Todos los valores biológicos del delta del Ebro, a los que nos hemos referido, hace tiempo que fueron ampliamente reconocidos entre los especialistas europeos, como lo demuestra el hecho de que en 1962 fuera una de las pocas áreas que el Bureau MAR incluyó en la máxima categoría de las zonas húmedas euroafricanas de importancia internacional.

Más recientemente, el Consejo de Europa lo declaró zona de importancia europea por la vegetación de ambientes salobres, mientras que la CEE lo incluía también como una de las primeras zonas de especial protección para las aves de todo el continente. Además, según la directiva europea para la Protección de las Aves y el convenio de Ramsar¹², el delta del Ebro resulta de importancia internacional para 8 especies de plantas y 69 de vertebrados, sin duda una de las cifras más elevadas que pueden alcanzarse.

La llanura de aluvión es la fuente de mucha de la comida requerida por los peces en los grandes ríos, tales como el Ebro. Existe una relación general entre la diversidad de los peces o la biomasa y la superficie del

¹² El **Convenio de Ramsar** o Convenio relativo a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, es un tratado intergubernamental aprobado el 2 de febrero de 1971 a orillas del Mar Caspio, en la ciudad iraní de Ramsar (de allí su sobrenombre), entrando en vigor en 1975. Este Convenio integra, en un único documento, las bases sobre las que asentar y coordinar las principales directrices relacionadas con la conservación de los humedales de las distintas políticas sectoriales de cada Estado. Actualmente cuenta con más de 150 Partes Contratantes (Estados miembros) en todo el mundo, aunque esta cifra varía al alza de manera continuada (en la Web del Convenio de Ramsar, está siempre actualizada). La UNESCO es la depositaria del Convenio y la sede de su Secretaría se localiza en la ciudad de Gland (Suiza). España es Parte contratante de este Convenio desde 1982 (Instrumento de Adhesión de 18 de marzo de 1982, BOE nº: 199 de 20 de agosto de 1982), siendo la Dirección General para la Biodiversidad la Autoridad administrativa del mismo en nuestro país.

terreno de aluvión. La mayor parte de los comentarios que aquí se realizan se refieren al terreno de aluvión río arriba del Delta, puesto que la mayoría del terreno de aluvión del propio Delta se utiliza para el cultivo del arroz. La llanura de aluvión existente a lo largo del río Ebro es necesaria puesto que los ríos son sitios pobres para la producción primaria porque están demasiado fangosos, abrasivos y revueltos como para promover el crecimiento de las algas o de micrófito, aunque los nutrientes están naturalmente acrecentados en los tramos medios y bajos de los ríos en relación con las cabeceras. En cambio, el terreno de aluvión proporciona una buena fuente de nutrientes de alta calidad para los peces, que pueden encontrar insectos trezados así como semillas y otra vegetación. La franja ripícola proporciona una menor cantidad de comida que el terreno de aluvión, pero tiene otras aplicaciones igualmente importantes, como por ejemplo la disposición del hábitat de las anátidas y las raíces.

Las numerosas presas existentes a lo largo del río Ebro reducen el suministro de sedimento inorgánico a las gravas del río y al propio Delta. Las presas, especialmente las tres presas grandes productoras de hidroelectricidad del tramo final (sistema Mequinenza-Ribarroja-Flix) bloquean la migración de peces e invertebrados. Finalmente, es probable que la calidad del agua de las salidas de gran calado de las presas sea pobre y posiblemente tóxica.

El río Ebro está contaminado, como muchos ríos que tienen ciudades e industrias a lo largo de sus orillas y se ejercen la agricultura y la ganadería de manera más o menos intensiva en su llanura de aluvión. La contaminación procede de fuentes puntuales, tales como la descarga de las aguas residuales tratadas y semitratadas, los depósitos de la fábrica electroquímica de Flix, junto a la presa del mismo nombre (cuya descontaminación está programada para el año 2009), los residuos industriales diversos y una cierta radioactividad aérea. Los efectos de esta contaminación se traducen en la eutrofización y las bajas concentraciones de oxígeno disueltas por la noche o bien en el agua profunda. La contaminación puede también observarse en las sustancias químicas potencialmente tóxicas (metales pesados, compuestos orgánicos tóxicos de derivados humanos) ahora presentes en el agua del Ebro y en sus sedimentos (especialmente los sedimentos de depósito). Las fuentes difusas de contaminación o no puntuales incluyen pesticidas y nutrientes, tanto de origen agrícola como urbano¹³.

Extensivamente, la situación en los humedales del delta de Ebro y la franja análoga de humedales de agua salobre a lo largo de toda la costa mediterránea española tiene muchas semejanzas a la del río Ebro y su estuario. La alta producción en estos humedales-deltas depende de

¹³ Vide Informe Berkeley. Citado en la bibliografía.

la mezcla de agua dulce y agua marina, de la misma manera que ocurre en la cuña salina principal del Ebro a la que nos hemos referido con anterioridad. La contaminación por nutrientes y pesticidas reduce el oxígeno disuelto en las aguas semi-estancadas, lo que supone una situación potencialmente peligrosa para ciertas especies animales tales como los camarones y los pequeños peces, así como para las aves que se alimentan de ellos. La pequeña variabilidad de las mareas en el Mar Mediterráneo exacerba la anoxia en los aguas de los humedales costeros, puesto que la limpieza que tiene lugar con agua de marea es menor comparada con otros humedales existentes en Inglaterra o en los Países Bajos, por ejemplo. Los pequeños animales acuáticos no pueden huir del nivel bajo de oxígeno en los humedales y tomar refugio en las aguas completamente oxigenadas del mar abierto, puesto que una fauna oceánica más grande las depredaría casi con total seguridad.

Después de todo lo dicho, cualquiera podría suponer que este extraordinario espacio natural, motivo de orgullo para sus habitantes, para la Cuenca y para todo el país, gozaría de una protección ejemplar. Lógico sería pensar que el renombre internacional y la responsabilidad adquiridas ante el mundo de preservar tal acumulación de valores, harían de este enclave un auténtico escaparate de la política de conservación de la naturaleza de cualquier Administración competente en el territorio. Pues bien, ¿de qué modo podrá influir en estos singulares ecosistemas la variación substancial del régimen hidráulico del río Ebro que podría tener lugar como consecuencia inmediata de todas las actuaciones y aprovechamientos previstos a lo largo y ancho de su cuenca hidrográfica?

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS

1. INTRODUCCIÓN

A partir de las series de caudales mensuales disponibles para la Cuenca del Ebro en su tramo inferior se puede efectuar una cuantificación del valor numérico del caudal mínimo necesario en el mismo, según los criterios siguientes: **norma francesa**, **norma suiza** (suponiendo que el caudal mínimo a respetar es del 25% del caudal mensual mínimo de la serie histórica disponible), **metodología expuesta en el presente trabajo** (que se alimenta de una combinación de las otras), **métodos hidrológicos** (basados en el estudio de las regularidades de series temporales largas de registros de caudales. Con estos métodos, el caudal de mantenimiento se establece a partir del resultado de alguna operación aritmética más o menos compleja, o bien a partir de algún parámetro estadístico supuestamente representativo. Hoy por hoy son aún los métodos de cálculo más extendidos a nivel mundial y los únicos reconocidos en el Estado español), **metodología basada en la aplicación del método RVA_{NGRPG}** , **técnicas hidrobiológicas o limnológicas** (que se basan en el estudio de la evolución de una serie de parámetros morfohidráulicos definitorios del hábitat de una comunidad acuática determinada, habitualmente la piscícola; en cierto modo son como una “segunda generación” de métodos de cálculo de caudales de mantenimiento, con propuestas que probablemente no han tenido toda la atención que se merecen, al verse enmascaradas por la rutilante aparición de los métodos actualmente en boga o de “tercera generación”, agrupables bajo la denominación de “métodos de simulación de hábitats”, en los que el estudio de una serie de parámetros morfohidráulicos, fisicoquímicos, tróficos, etc. se extrapola hasta su relación concreta con algunas variables biológicas poblacionales de especies piscícolas determinadas para definir sus preferencias en cuanto a hábitat)¹⁴. O bien cualquier otro criterio que se base en la serie cronológica de las aportaciones del río.

En numerosos cauces de la cuenca del Ebro se tienen, en determinadas épocas, unos caudales muy exigüos, que pueden llegar a ser prácticamente nulos en ocasiones y lugares concretos. Esta situación puede producirse por diversas causas, o normalmente por varias de ellas

¹⁴ Vide PALAU (1994). Obra citada en la bibliografía.

conjuntamente. Algunas de estas causas, haciendo mención a problemas concretos, se indican a continuación:

- Derivaciones para aprovechamientos.
- Estiajes acusados, con mayor incidencia en tramos de ríos permeables o en aluviales desarrollados.

Los efectos derivados son de muy diversos tipos, según el cauce de que se trate. Sin embargo, a título meramente enunciativo, no exhaustivo, pueden citarse los siguientes:

- Degradación medioambiental del cauce. Proliferación de vegetación borde en las márgenes y decantación de fangos o sedimentos en el lecho del río. Estos fangos pueden producir olores desagradables y su arrastre con las tormentas puede liberar fuertes cantidades de materia orgánica y amoníaco.
- Empeoramiento general de la calidad del agua, con efectos nocivos sobre la fauna piscícola y las captaciones existentes. La salinidad (medida como conductividad eléctrica del agua), en concreto, aumenta considerablemente al disminuir el caudal de dilución.

En las concesiones que se otorgan actualmente se imponen, en general, algunas cláusulas que obligan al mantenimiento de un determinado caudal en el río o bien especifican que la Administración podrá, en su momento, fijar unos caudales que deberán ser respetados en el cauce; con ello se facilitará el establecimiento de dichos caudales. En las concesiones anteriores, raramente se fijaba un caudal a mantener en el cauce, por lo que el establecimiento de dichos caudales deberá probablemente pasar por una expropiación previa. Desde luego, en el caso de las concesiones otorgadas sin que se haya construido el aprovechamiento la problemática será bien distinta.

En las cuencas incluidas en el Decreto de 11 de septiembre de 1953 sobre masas de agua protegidas parece que puede ser competencia del órgano ambiental de la correspondiente Comunidad Autónoma la fijación de caudal a respetar. Una Comunidad Autónoma con territorio en la cuenca ha fijado los caudales a respetar en determinados puntos de su red fluvial. Se trata de una cuestión compleja en la que la coordinación entre las diferentes Administraciones actantes se considera básica.

En el río Canaleta y en el Siurana se producen importantes estiajes que dejan seco el cauce en grandes tramos, con periodicidad prácticamente anual. Se carece de trabajos específicos al respecto que valoren adecuadamente el interés de mantener un cierto caudal de compensación en estos cauces, especialmente en el Siurana, cuyo

régimen en la parte baja está notablemente alterado por el trasvase que se realiza al embalse de Riudecanyes, situado en el ámbito territorial del Pirineo Oriental (actuales Cuencas Internas de Cataluña).

En relación con el Ebro, la problemática se concreta en la carencia de estudios específicos concretos que valoren la incidencia de las descargas subterráneas y los requerimientos de todo tipo, tanto medioambientales como aprovechamientos de propósito variado, para concretar el caudal que deberá garantizarse en la parte final del río, salvo quizás el del IRTA (2007), el contenido en algún libro del autor del presente Informe (FRANQUET, 2005), la estimación por el método del caudal básico de la documentación técnica del PHN (MIMAM, 2000) y el estudio de la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHE también por la aplicación del mismo método. En este aspecto es necesario incidir en que este tramo final objeto de nuestro estudio constituye un estuario que facilita -en ciertas condiciones- la entrada de la cuña de agua marina hasta casi la misma ciudad de Tortosa, que existe una fauna piscícola singular, que entra en juego el equilibrio morfológico del Delta y que el caudal está relacionado con el nivel de nutrientes y productividad primaria, tanto del estuario como de las bahías y lagunas del Delta.

La preocupación ambiental, que tanto ha arraigado en nuestra sociedad durante las últimas décadas, ha tardado en llegar a nuestros ríos, especialmente en lo referente a la regulación de caudales. Finalmente, la Ley 29/1985 de Aguas, de 2 de agosto de 1985, ha tomado en consideración esta preocupación, al exigir una evaluación previa de los impactos de las obras hidráulicas y una mejor gestión de los recursos hídricos que minimicen dichos impactos en los ecosistemas fluviales (arts. 38 y 90).

Resulta obvio que el criterio de fijar el 10%, o cualquier otro porcentaje fijo, de las aportaciones naturales como caudal ecológico para todos los ríos es una primera aproximación, si bien no sostenida por ninguna base científica, como tampoco lo es el fijar en 100 m³/seg. el caudal mínimo medioambiental del río Ebro por parte del Plan hidrológico de la cuenca correspondiente y por el propio PHN-2001. Desconocemos en este momento, también, los criterios seguidos en su día por la *Generalitat de Catalunya* y su Agencia Catalana del Agua que conducen a la propuesta de un caudal mínimo de 135 m³/seg. para el tramo inferior. Cada río tiene un régimen de caudales y unas características geomorfológicas peculiares, y cada uno exige, en su consecuencia, la fijación de unos caudales mínimos medioambientales diferentes.

Conviene, a este respecto, observar las consideraciones efectuadas en el denominado “Informe Berkeley”¹⁵, que, por su interés, transcribimos textualmente:

“Un aspecto muy importante de esta parte del estudio hidrológico (se refiere al del PHN-2001) es el establecimiento de un valor de 100 m³/seg. (3.154 hm³/año; 263 hm³/mes) como el caudal mínimo necesario en la desembocadura del río Ebro. Dos aspectos parecen importantes a la hora de observar este tema:

1. El valor de caudal mínimo de 100 m³/seg. necesita validarse con consideraciones ecológicas. Es necesario un mayor desarrollo de este punto tal como se ha tratado en la sección ecológica.
2. Debería realizarse un estudio estadístico detallado de los caudales mínimos previstos en el bajo río Ebro. Un método habitualmente empleado en los EE.UU. para el análisis de caudales bajos es la determinación de la frecuencia a 10 años del caudal bajo en siete días.

Estos dos aspectos anteriores están íntimamente relacionados. Así pues, debería estudiarse en detalle la estructura probabilística de los caudales diarios acumulativos mínimos para poder establecer su relación con cualquier impacto ecológico. Como ejemplo, se podría pensar en un objetivo como caudal mínimo basado en intentar maximizar la superficie mojada del río por debajo de la línea de la orilla inicial con el objetivo de optimizar las poblaciones de invertebrados y, por consiguiente, el alimento para los peces. También podrían establecerse los caudales mínimos ocasionales más altos para limpiar la grava de sedimento con anterioridad al desove de los peces. Cuestiones importantes a resolver comprenden las diferencias que se esperan que haya en la estructura probabilística de los caudales diarios acumulativos en una situación virgen pseudo-histórica, en el estado presente y bajo diferentes situaciones de almacenamiento y transferencias de exportación con las demandas futuras que se supone que tendrá que soportar el sistema.”

También se ha utilizado como criterio para fijar el caudal ecológico la media de los caudales mínimos registrados durante una serie de años. Este criterio no tiene en cuenta suficientemente las necesidades biológicas del río, ya que la fauna fluvial está adaptada a vivir con esos caudales mínimos, pero durante cortos periodos de tiempo, no de forma permanente.

También resulta poco generalizable el criterio de que los caudales ecológicos sean aquellos capaces de diluir los vertidos contaminantes que existen en el tramo de aguas abajo, ya que según este mismo criterio a un río sin vertidos le correspondería un caudal ecológico nulo.

Por lo que se refiere a la metodología a aplicar, deberían cumplirse, en cualquier caso, los siguientes requisitos (PALAU, 1994):

1. La base de cálculo debía responder a una regularidad natural real que, como tal, formara parte de la coevolución entre el medio

¹⁵ Vide Informe Berkeley. Citado en la bibliografía.

físico y las comunidades naturales, independientemente de que fuera una relación poco reconocible. Debía evitarse al máximo la incorporación de arbitrariedad, en la medida en que supone una intrusión de subjetividad y puede devaluar la solidez de los cálculos.

2. La aplicación del método y el resultado a obtener debían ser personalizable y personalizado, respectivamente, para cada río o tramo de río en concreto, evitando planteamientos basados en proporcionalidades fijas. Había que aprovechar al máximo la información que cada río aporta sobre las necesidades de sus comunidades naturales y concretar en qué parámetros o variables se podía obtener de forma sintética toda esa información o, al menos, la relación información obtenible/aplicabilidad práctica más óptima.
3. Derivado en parte del requisito anterior, el método adoptado debía cumplir un axioma tan simple y obvio como que el caudal de mantenimiento fuese comparativamente más conservativo en los ríos menores y menos en los de mayores caudales circulantes. Restar menos de “poco” puede conducir a nada, mientras que restar mucho de “más” puede permitir una situación sostenible.
4. Los resultados obtenidos debían estar en línea con experiencias empíricas, tanto bibliográficas como personales, y con los condicionantes propios de los aprovechamientos fluviales ordinarios sobre regulación y/o derivación de caudales. A pesar de la enorme variedad de métodos de cálculo existentes, los resultados obtenibles de todos ellos siguen una distribución más o menos normal que encierra el intervalo de máxima probabilidad entre el 10% y el 30% del caudal medio interanual. Se trataba de que el método adoptado mantuviera también como intervalo más probable el indicado, a fin y efecto de intentar representar un equilibrio racional entre la conservación de los ambientes fluviales y el aprovechamiento del agua como recurso.

Un criterio que nos parece acertado es el que liga las exigencias del hábitat que tienen las especies fluviales con la variación del hábitat fluvial en función de los caudales circulantes. Diversos autores, a los cuales ya nos hemos referido con anterioridad, han utilizado metodologías basadas en este criterio, entre los que cabe señalar a TENNANT (1976) que analiza cualitativamente el hábitat piscícola en función de la hidrología de la cuenca vertiente; a WHITE (1976), que desarrolla un análisis hidráulico entre los caudales circulantes y el perímetro o contorno mojado del cauce, asumiendo una relación creciente entre éste y la capacidad biogénica del río. Y finalmente, a STALNAKER (1979) y BOVEE (1982), quienes desarrollan un método basado en las relaciones cuantitativas existentes entre los caudales circulantes y los parámetros físicos e hidráulicos que determinan el hábitat biológico.

A continuación, se expone la metodología basada en este último criterio, que se ha utilizado en los ríos regulados de la Comunidad de Madrid con el fin de proponer los caudales ecológicos capaces de mantener una comunidad faunística similar, al menos en términos cualitativos, a la que de forma natural existe en los correspondientes ríos, en sus condiciones naturales (CASADO *et al.*, 1988).

2. TÉCNICAS HIDROBIOLÓGICAS

2.1. Conceptualización

Estas metodologías se basan en conceptos de la IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*) creada por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos (*US Fish & Wildlife Service*), como ya se ha citado, para relacionar los valores ecológicos de los ríos con los usos potenciales de sus aguas en términos comparables, y de esta forma planificar objetivamente la utilización de los recursos hídricos. La exposición en detalle de esta metodología IFIM puede verse en BOVEE (1982) y su revisión crítica ha sido presentada por GORE & NESTLER (1988) y SOUCHON (1983).

El esquema conceptual de dicha metodología parte de tres puntos básicos:

1. Un modelo de simulación de la hidráulica fluvial

A través de este modelo se pueden relacionar los diferentes caudales circulantes (Q_i) con una serie de parámetros físicos que varían con ellos, como son la profundidad o nivel de las aguas, su velocidad, anchura del cauce ocupado, temperatura, cobertura y granulometría del sustrato del lecho.

2. Curvas de preferencia de la fauna

Para cada uno de los parámetros hidráulicos anteriores, definimos una curva de preferencia que relaciona el grado de adecuación de la fauna acuática a los distintos valores que toman dichos parámetros cuando varían los caudales que circulan por el cauce. Cada especie encuentra su óptimo en un rango de variación determinado de cada parámetro, y fuera del mismo “toleran” las condiciones existentes o dejan de poder existir ante ellas. Se puede así definir, para cada parámetro, una curva de preferencia de algunas especies representativas de la fauna del río (normalmente se elige la trucha u otro pez abundante), que se uniformizan para fluctuaciones entre 0 y 1, de forma que se da el valor cero para los valores del parámetro que resulten intolerables y la unidad para aquellos valores que resulten óptimos para la especie.

3. Valor potencial del hábitat fluvial

Podemos considerar que el río está dividido en celdas diferenciadas, en las que para un determinado caudal circulante existe una profundidad media (P_i), una velocidad media (V_i) y un tipo de sustrato (S_i) determinados. Las curvas de preferencia nos dan unos valores de preferencia de cada parámetro que son C1 (P_i), C2 (V_i) y C3 (S_i). El producto de ellos es un indicador del valor potencial de esa celda y la integración de dicho valor como hábitat potencial de todas las celdas de un tramo de río, ponderándolas por la superficie que representan cada una de ellas, sirve a su vez de indicador del valor como hábitat del tramo fluvial representado por esa sección.

Finalmente, utilizando el modelo hidráulico es posible simular para cada caudal los valores de las variables físicas que le corresponden en cada celda, y por consiguiente el valor como hábitat de todas las celdas y por integración el de todo el tramo fluvial. Así se obtiene una relación entre el valor ecológico del hábitat y los caudales circulantes por el río, sirviendo de instrumento para fijar los caudales mínimos ecológicos con base científica.

2.2. Modelo hidráulico

Se parte de una serie de datos, obtenidos en el campo para las distintas estaciones de muestreo, con los que se pretende caracterizar el sustrato del río, sus márgenes y el régimen de velocidades y de caudales.

En cada estación se deben distinguir al menos dos zonas, una de aguas rápidas y otra de aguas lentas. Para cada una de ellas se mide la pendiente motriz o longitudinal del cauce y se elige un código de cobertura subacuática que caracteriza el hábitat en lo que respecta a la existencia de refugios y zonas disponibles para la pesca.

El sustrato del río se caracteriza mediante los porcentajes estimados de grandes piedras, gravas, arenas, fango y roca madre existentes en el lecho. Se miden también las pendientes transversales de ambas márgenes al tiempo que se realiza un croquis de la sección del río en cada tramo, que incluye márgenes y riberas. Finalmente, y también para cada tramo, se evalúan uno o dos transectos, según su longitud; en ellos se hacen mediciones de profundidad y velocidad a diferentes distancias de la orilla (cada 1 ó 2 m), y cubriendo toda la sección con las que se evaluará el caudal que circula por el tramo y el coeficiente de rugosidad del cauce.

La medida puntual de la velocidad se puede hacer con un molinete Woltmann, a una distancia igual a 0,6 veces la profundidad media desde la superficie, para obtener la velocidad media correspondiente de la sección transversal. Se obtiene así una serie de datos de velocidad para distintos puntos del transecto, que queda dividido en varias celdas. De cada celda se conoce la velocidad en ambos lados, tomando la media aritmética como la velocidad media de la celda y su superficie, por lo que aplicando la fórmula del gasto o ecuación de continuidad: $Q = S \cdot V$, donde Q es el caudal, S la superficie de la sección y V la velocidad, se puede determinar el caudal que circula por la celda. El caudal total que circula por el transecto será la suma de los caudales de cada celda.

Para el caso de un líquido incompresible, como el agua de un río o de un arroyo, su densidad puede considerarse la misma y constante entre dos puntos 1 y 2 de la masa, con lo que: $\rho_1 = \rho_2$ y la ecuación de continuidad, de no existir entradas (*inputs*) o salidas (*outputs*) de agua en el tramo 1-2, adopta la configuración expresada por el conocido teorema de De Vinci:

$$Q = V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2 = \text{cte.}$$

que expresa que el gasto volumétrico permanece constante en todas las secciones transversales (conjunto de tubos de corriente) de la conducción libre. Así mismo, de esta ecuación se deduce que las velocidades medias en una corriente permanente de un fluido incompresible resultan inversamente proporcionales a las áreas mojadas de las secciones respectivas.

Se determina entonces la superficie del transecto (suma de las superficies respectivas de cada celda) y aplicando nuevamente la ecuación del gasto tendremos una velocidad media para el transecto.

Conocida la velocidad media del transecto se aplica la clásica fórmula de Manning-Strickler, para determinar el coeficiente de rugosidad. Así:

$$n^2 = \frac{R^{4/3} \times I}{V^2}, \text{ o bien: } n = \frac{R^{2/3} \times \sqrt{I}}{V}$$

Siendo:

$$\left\{ \begin{array}{l} R: \text{radio hidráulico o medio (m.).} \\ V: \text{velocidad media de la sección (m/s.).} \\ I: \text{pendiente longitudinal del cauce, aproximada por la tangente del} \\ \text{ángulo.} \end{array} \right.$$

Normalmente, los valores así obtenidos del coeficiente de rugosidad n no deberán variar excesivamente de los que se deducen de la siguiente tabla para los cauces naturales (extraída de la tabla 1.1, pág. 43 de nuestro libro “Cinco temas de Hidrología e Hidráulica”), y que resultan adecuados también para la aplicación de la fórmula general de Ganguillet-Kutter. A saber:

Tabla de valores n en las fórmulas de Ganguillet-Kutter y Manning-Strickler (Basados en los valores propuestos por Robert E. Horton. Ref. <u>Apuntes de Hidráulica general y agrícola</u> . J. E. Torres Sotelo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Valencia, 1970). Adaptación del propio autor.			
TIPO DE CONDUCCIÓN LIBRE	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
I.- Cauces naturales (Ríos y arroyos)			
Limpios, de riberas rectas, sin ollas (ríos de meseta)	0'025	0'030	0'033
Sinuosos con algo de piedra y vegetación	0'033	0'040	0'045
Sinuosos con piedras, ollas y maleza	0'045	0'070	0'100
Ríos de montaña (con grava, piedras y bolos)	0'040	0'050	0'070
II.- Cauces naturales en avenidas			
Inundaciones en pastizales	0'025	0'030	0'050
En terrenos de labor sin cultivos	0'020	0'030	0'040
En terrenos de labor con cultivos herbáceos	0'025	0'040	0'050
En monte bajo	0'035	0'060	0'110
En bosques	0'040	0'070	0'150

Tabla 7. Valores del coeficiente n de Ganguillet-Kutter y Manning-Strickler.

Fórmula de Franquet. También se puede utilizar la fórmula multivariante de FRANQUET (“Cinco temas de Hidrología e Hidráulica”, Universidad Internacional de Cataluña - Asociación de Ingenieros Agrónomos de Cataluña, Tortosa, 2003), que ofrece la velocidad media del agua en el cauce, a saber:

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot R \cdot I}{R^{-0'3559} \cdot e^{-6'3388+0'2674 \cdot K}}} = 4'43 \cdot \sqrt{I \cdot R^{1'3559} \cdot e^{6'3388-0'2674 \cdot K}}$$

Despejando la categoría de rugosidad de la expresión general anterior, se tiene:

$$\begin{aligned} V^2 &= 19,6249 \cdot I \cdot R^{1,3559} \cdot e^{6,3388-0,2674 \cdot K} , \\ 2 \ln V &= \ln 19,6249 + \ln I + 1,3559 \cdot \ln R + 6,3388 - 0,2674 \cdot K , \\ 0,2674 \cdot K &= 9,3156 + \ln I + 1,3559 \cdot \ln R - 2 \ln V , \end{aligned}$$

$$K = 34,8377 + 3,7397 \cdot I + 5,0707 \cdot \ln R - 7'4794 \cdot \ln V$$

Consúltase, al respecto, el anexo 4 (“Restantes especificaciones metodológicas”) del presente trabajo, así como la tabla 1.7, pág. 76 del libro mencionado, donde puede verse que los valores del coeficiente o categoría de rugosidad de nuestra formulación, para los cauces naturales, se hallan comprendidos en el intervalo: $K \in [9, 12]$. También pueden aplicarse las fórmulas específicas para cada categoría de rugosidad de paredes y fondo del río o arroyo.

Tratándose de cursos de agua naturales, es posible la aplicación de la fórmula de Manning específica para este tipo de cauces libres¹⁶, así como también sería adecuada la aplicación de las fórmulas de cálculo (más propias o específicas para este tipo de cauces naturales) de Hermanek y Siedeck, que se presentan a continuación.

Fórmula de Hermanek. En este sentido, la velocidad media de circulación del agua por el cauce de un río o arroyo cuyo caudal ecológico se trata de determinar, según la formulación de Hermanek, viene dada por la expresión:

$$V = K' \sqrt{h \cdot I}$$

$$\text{en que } K' = \begin{cases} 30 \cdot 7 \sqrt{h} \\ 34 \sqrt[4]{h} \\ (50 \cdot 2 + 0 \cdot 5 h) \sqrt{h \cdot I} \end{cases}$$

$$\text{para una profundidad media} = \begin{cases} h \leq 1 \cdot 5 \text{ m.} \\ 1 \cdot 5 < h \leq 6 \text{ m.} \\ h > 6 \text{ m.} \end{cases}$$

y siendo I , como siempre, la pendiente longitudinal del cauce.

Fórmula de Siedeck. Su expresión general viene dada por:

$$V = \frac{h \sqrt{I}}{\sqrt[20]{L \times 0 \cdot 0316}}$$

en que L es la anchura de la superficie libre del cauce natural.

En el caso de más de una medida para cada sección se toma como coeficiente de rugosidad la media de los obtenidos para los distintos caudales estimados. Los coeficientes de rugosidad así obtenidos se comparan con los recogidos por CHOW (1985) para los distintos tipos de cauce y se toma el que mejor se aproxima al caso correspondiente.

¹⁶ Vide el libro mencionado del mismo autor, pág. 48.

Conocido el coeficiente de rugosidad es necesario saber cómo se modifican las condiciones hidráulicas de la corriente en función del caudal. Para ello se consideran incrementos de calado de 5 cm., lo que supone la modificación de las condiciones de la corriente al variar en cada una de las celdas el radio hidráulico y la profundidad (incrementos conocidos), y el régimen de velocidades en el sistema de celdas se determina utilizando las fórmulas de Manning-Strickler, Franquet, Hermanek, Siedeck o cualquiera de las otras expuestas en el ejemplo anterior, con el coeficiente de rugosidad estimado. Es necesario tener bien en cuenta que el incremento -positivo o negativo- del calado supone la incorporación o desaparición de celdas, dependiendo de las características del cauce.

2.3. Determinación de la anchura ponderada útil

Con la información recogida en el campo se dispone de una serie de datos sobre profundidad, velocidad, tipo de sustrato y cobertura, así como su distribución en el río. Para cada uno de estos parámetros se tiene una curva de preferencia desarrollada a partir de las propuestas por BOVEE (1982), modificadas por la propia experiencia tanto en base a las comunidades piscícolas como a las de macroinvertebrados (ver BROTONS, 1988). Por unidad de longitud para cada tramo y caudal circulante, se puede determinar una anchura útil ponderada por un índice de conformidad C, calculado como el producto de los 4 factores siguientes:

$$C = C_{cob} \times C_s \times C_h \times C_v$$

Dos de ellos, los referentes a cobertura subacuática (C_{cob}) y sustrato (C_s) son fijos para cada transecto e indicadores de la capacidad que tiene el hábitat como refugio y como alimento (macroinvertebrados) para la comunidad piscícola, respectivamente. Dichos factores han sido evaluados por las siguientes expresiones:

$$C_{cob} = 0.3 + 0.1 \times cob$$

Siendo “cob”: código de cobertura subacuática (expresado en %).

$$C_s = (1.0 \times pbl + 0.8 \times pgr + 0.7 \times par + 0.6 \times pfan + 0.5 \times prm) / 100$$

Siendo: {

- pbl: porcentaje de cantos rodados
- pgr: porcentaje de gravas
- par: porcentaje de arena
- pfan: porcentaje de fango
- prm: porcentaje de roca madre

Los factores referentes al calado (Ch) y a la velocidad (Cv) son característicos de cada celda y vienen determinados por:

$Ch = 0$	si	$cm_i < 20 \text{ cm}$
$Ch = -1.2 + 0.06 \times cm_i$	si	$20 < cm_i < 30 \text{ cm}$
$Ch = 0.4 + 0.007 \times cm_i$	si	$30 < cm_i < 85 \text{ cm}$
$Ch = 1$	si	$cm_i > 85 \text{ cm}$
$Cv = 1$	si	$Vi < 25 \text{ cm/s.}$
$Cv = 1.571 - 0.023 \times Vi$	si	$25 < Vi < 60 \text{ cm/s.}$
$Cv = 0.309 - 0.002 \times Vi$	si	$60 < Vi < 155 \text{ cm/s.}$
$Cv = 0$	si	$Vi > 155 \text{ cm/s.}$

Siendo: $\left\{ \begin{array}{l} cm_i: \text{calado medio de la celda } i \\ Vi: \text{velocidad media de la celda } i \end{array} \right.$

Se obtiene así el coeficiente de conformidad (Ci) para cada celda. La anchura ponderada útil ($APUi$) de cada celda será el producto de su anchura real por el coeficiente de conformidad, o sea:

$$APUi = Areal \times Ci$$

Y la anchura ponderada útil del transecto APU será la suma de las $APUi$ de todas las celdas del mismo y corresponderá a un determinado caudal. Si mediante el modelo hidráulico simulamos las condiciones de velocidad y profundidad de las celdas para diferentes caudales, podremos hallar sus APUs correspondientes y, en definitiva, obtener unas curvas que relacionan las APU con los caudales, para cada sección transversal.

3. CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS ABSOLUTOS

Los caudales ecológicos se obtienen a partir de las gráficas que relacionan la anchura ponderada útil (APU) con el caudal (Q). Se ha considerado como caudal ecológico que genera una APU igual a 1 m. Se puede reforzar este criterio con la exigencia de que la APU debe ser mayor que el cincuenta por ciento de la anchura real del cauce en las condiciones de muestreo de verano (máximo estiaje), ya que una reducción mayor afectaría forzosamente a la ecología de numerosas especies.

4. CAUDALES ECOLÓGICOS ACONSEJABLES

Para un río determinado en una zona homogénea existe una relación entre la anchura ponderada útil para la vida piscícola y la biomasa piscícola que realmente habita esa zona del río. Por otro lado, unos bajos caudales que originen escasez de pesca no tienen interés desde el punto de vista de su actual utilización recreativa. Por ello se considera que, siempre que sea posible, deben circular por los cauces unos caudales aconsejables capaces de mantener una biomasa piscícola igual o superior a 30 g/m².

Para hallar esta correlación entre la anchura ponderada útil en metros y la biomasa en gramos por metro de longitud de río se realizan muestreos piscícolas cuantitativos en numerosos ríos y en los mismos tramos muestreados simultáneamente se determinan las APU correspondientes. Los muestreos piscícolas se pueden realizar mediante pesca eléctrica y las biomásas estimarse por el método de capturas sucesivas a esfuerzo constante (para un mayor detalle metodológico ver GARCÍA DE JALÓN *et al.*, 1986).

La relación entre las biomásas (en términos de peso por unidad de longitud de río, g/m) y las APU obtenidas se ajustan a expresiones de tipo lineal, exponencial y potencial, seleccionándose las de mejor coeficiente de correlación. Multiplicando los 30 g/m² por la anchura del cauce se obtiene un valor con el que, entrando en la relación anterior B/APU, nos proporciona un valor de APU que, a su vez, llevado al gráfico APU/Q permite deducir el caudal ecológico aconsejable buscado.

Por lo que se refiere al régimen de caudales ecológicos, veamos que para proceder a su establecimiento en cada tramo fluvial debe distinguirse entre aquellos ríos caracterizados por la presencia de salmónidos (categoría de calidad C1) y aquellos otros que, en ausencia de éstos, se caracterizan por la presencia de ciprínidos (categoría de calidad C2). En los primeros se protege la trucha común (*Salmo trutta*)¹⁷

¹⁷ De todos los peces de río la trucha es el más comercializado y uno de los más ansiados trofeos para el pescador. Por el nombre de “trucha” conocemos a una serie de especies y subespecies de pescados semigrasos que pertenecen al género *Salmo*. Existen muchos tipos de truchas y es un pescado de gran importancia económica y gastronómica. La trucha se adapta a multitud de ambientes acuáticos, siempre que se trate de aguas frías, limpias y bien oxigenadas. La talla suele relacionarse con la velocidad y temperatura de las aguas. Así, en aguas rápidas y frías de montaña son frecuentes ejemplares de pequeño tamaño, en torno a los veinte centímetros, en cambio en aguas lentas y embalses pueden llegar a rebasarse, con frecuencia, los treinta centímetros. Sus costumbres son muy territoriales e incluso agresivas: los adultos no permiten la presencia de otros individuos en su cercanía. La parte principal de su dieta está formada por invertebrados bentónicos y pequeños insectos. No obstante, las grandes truchas que se crían en zonas de aguas lentas pueden consumir animales de gran tamaño, principalmente anfibios, e incluso adquirir hábitos caníbales, predando sobre alevines, juveniles y adultos de menor talla. La freza tiene lugar a finales de año. Para ello las truchas se desplazan a áreas de aguas rápidas con abundantes graveras. En los grandes ríos de la península pueden producirse desplazamientos migratorios de cierta entidad. Sin embargo, en los ríos asturianos o cántabros, mayoritariamente de aguas rápidas, los

en las épocas de reproducción, que tiene lugar en nuestro país desde mediados de noviembre a febrero, así como de las altas temperaturas estivales (desde mediados de julio a mediados de septiembre), mediante la exigencia de caudales superiores a los “caudales aconsejables”. En las restantes épocas de año, o sea, desde marzo hasta mediados de julio y desde mediados de septiembre a mediados de noviembre, se exige al menos el “caudal mínimo” (García de Jalón, 1990).

En los ríos de ciprínidos, más adaptados a las altas temperaturas estivales, se protege exclusivamente su reproducción, que tiene lugar entre los meses de mayo y junio, con “caudales aconsejables”, mientras que el resto del año sólo se exige el “caudal mínimo”.

La figura siguiente es una adaptación esquemática de los métodos que combinan modelos de simulación hidráulica (A) con información sobre la preferencia de las especies en relación a determinados parámetros físicos (B). Se obtiene así una gráfica que representa la potencialidad del hábitat para las especies piscícolas consideradas en función de caudales supuestos (C). Esto es:

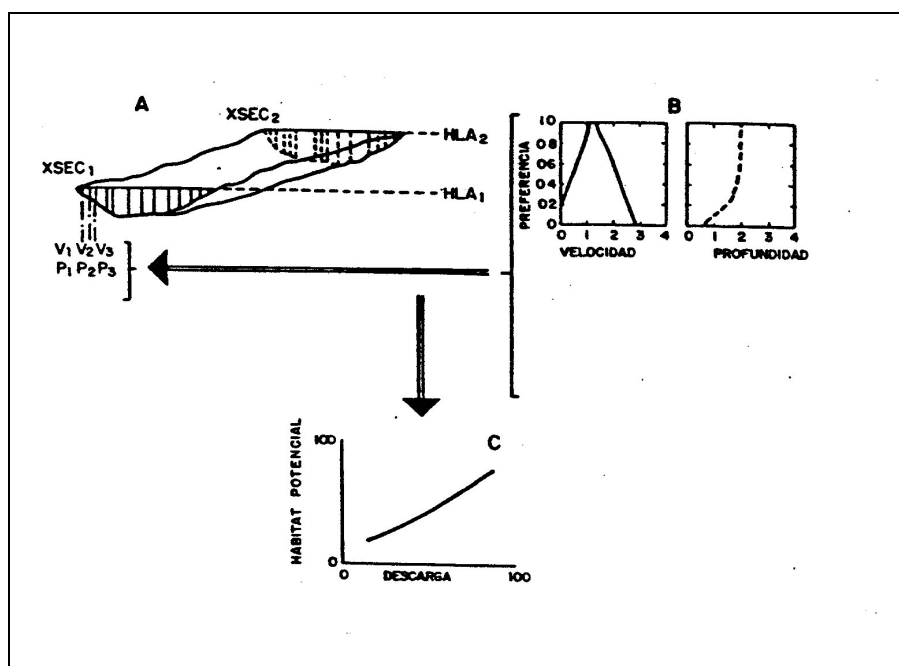


Fig. 3. Potencialidad del hábitat en función del caudal.

En cualquier caso (PALAU, 1994), tanto los métodos hidrológicos como los hidráulico-biológicos conservan una serie de ventajas incuestionables sobre los métodos de simulación de hábitats, a saber:

desplazamientos son de muy corto recorrido, limitándose a cortas penetraciones en los afluentes de los ríos de mayor caudal.

1. Los métodos hidrológicos y los hidráulico-biológicos son, en esencia, de carácter integrador, es decir de síntesis, mientras que los basados en la simulación de hábitats son más bien analíticos. En los dos primeros se da por supuesto que la información teóricamente más importante para los organismos acuáticos está concentrada (integrada) en las series hidrológicas o bien en unas cuantas características hidráulicas de la sección, mientras que el tercer método pretende determinar y ponderar la importancia de todos estos aspectos hidrológicos e hidráulicos, además de otros (físicoquímica del agua, características tróficas, ciclos de desarrollo, preferencias de hábitat, etc.), con el objetivo de definir cuál es la relación óptima entre disponibilidad de hábitat y unidad de caudal, lo cual, al margen de su extraordinario interés científico, puede quedar más cerca del deseo que de la realidad y, en cualquier caso, tampoco permite una extrapolación fácil hacia el concepto de caudal de mantenimiento, cuando menos en los ríos de tipología mediterránea.

2. Al menos a nivel teórico, puede concluirse que los métodos hidrológicos e hidráulico-biológicos permiten la obtención de caudales de mantenimiento válidos, puesto que en los parámetros que utilizan está toda la información necesaria para los cálculos. Otra cosa es que no se sepa cómo extraer toda esa información.

3. Derivado del primer apartado, se concluye también que los métodos hidrológicos y los hidráulico-biológicos son extremadamente más fáciles de aplicar, y esto, a pesar de que pueda parecer marginal, resulta de trascendental importancia a efectos de su difusión y puesta en práctica.

4. Finalmente, los métodos de simulación de hábitats parten de variables evaluadas de forma al menos igual de arbitraria que las de los métodos hidrológicos e hidráulico-biológicos, sólo que bajo tratamientos de cálculo que requieren muchos más ajustes y por tanto mayor carga de subjetividad (decisión) y de potencial acumulación de sesgos.

CAPÍTULO 6

CAUDALES MÍNIMOS MEDIOAMBIENTALES. PERIODOS DE RETORNO

1. INTRODUCCIÓN

Consideraremos como criterio aceptable para la contrastación de la cuantía del caudal ecológico mínimo, el que se deduce, para un periodo de retorno determinado, basándose en la función de Gumbel.

Se llama *periodo de retorno* de un determinado caudal mínimo al número medio de años que han de transcurrir para que se produzca una sola vez un caudal mínimo anual igual o inferior al citado. Es decir, si q_p es el caudal mínimo anual correspondiente (se trataría de caudales medios mensuales) a un periodo de retorno de n años, eso significa que, por término medio, se da un caudal inferior o igual a q_p una vez cada n años.

La función de distribución teórica de probabilidad más usada en general -por la bondad de sus resultados- para estudiar los valores extremos de las variables meteorológicas (que son, sin duda, las de mayor influencia en las oscilaciones de los caudales del río), es la función de GUMBEL, que se detalla a continuación.

2. CÁLCULO DE LOS PERIODOS DE RETORNO

2.1. Metodología

La función teórica de la distribución de probabilidad de Gumbel viene dada por la formulación:

$$p = e^{-e^{-y}} \quad (1)$$

Expresa una relación de cuantía-frecuencia, en la que p es la probabilidad de que el caudal mínimo anual sea superior a un cierto valor q_p . Por tanto, $1-p$ será la probabilidad del suceso contrario o complementario, o sea, que el caudal mínimo anual sea menor o igual a q_p . La variable y es una variable intermedia, y e es la base de los logaritmos neperianos o naturales ($e = 2,71828284\dots$).

De hecho, aunque no sea éste nuestro caso, puede suceder que sólo se disponga de los registros de caudal correspondientes a una corta serie cronológica de años, lo que no permite conocer, por otros procedimientos iterativos, los caudales mínimos correspondientes a

períodos de retorno superiores al número de años conocidos de la serie histórica. Por ello, puede resultar de interés recurrir a métodos como el que se desarrolla a continuación.

Si en un número suficientemente grande de años **N** se ha dado **V** veces un caudal mínimo absoluto anual inferior o igual a **q_p**, se cumplirá que:

$$1-p \approx V/N$$

y como el período de retorno correspondiente a **q_p** es:

$$n = N/V$$

se cumple que: $1-p \approx 1/n$, de dónde:

$$n \approx 1/(1-p)$$

Por tanto, al fijar el período de retorno **n**, podemos deducir **p** mediante la expresión aproximada:

$$1 - p = 1/n \quad ; \quad p = 1 - 1/n = (n-1) / n$$

Tomando logaritmos naturales a la ecuación inicial (1), obtendremos:

$$\begin{aligned} \ln p &= -e^{-y} = -\frac{1}{e^y} \quad ; \quad e^y = -\frac{1}{\ln p} \quad ; \\ y &= \ln \left(\frac{-1}{\ln p} \right) = \ln \left(\frac{1}{-\ln p} \right) = -\ln(-\ln p) = -\ln \left(\ln \frac{1}{p} \right) = \text{coln} (\text{coln } p) \end{aligned} \quad (2)$$

El valor **q_p** se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$q_p = \bar{q} - S_q \cdot K$$

siendo:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{q} = \text{valor medio de los caudales mínimos anuales.} \\ S_q = \text{desviación típica o "standard" muestral de los caudales} \\ \quad \text{mínimos anuales.} \\ \\ K = \frac{|\bar{y} - y|}{S_y} \text{ en la que:} \\ \\ y \text{ viene dada por la ecuación (2)} \\ \bar{y} \text{ es la media de los valores: } y_i = -\ln\left(\ln\frac{n+1}{i}\right), \quad \forall i = \{1, 2, \dots, n\} \\ \\ S_y \text{ es la desviación típica de los valores anteriores } y_i \text{ (desviación} \\ \text{cuadrática media, típica o "standard" de la muestra).} \end{array} \right.$$

2.2. Cálculo de los períodos de retorno para los caudales mínimos anuales

2.2.1. Caudales mínimos absolutos anuales ($N = 62$ años)

En base a la serie histórica o cronológica de los caudales del río Ebro medidos en la estación foronómica nº: 027 (Tortosa), según datos de la propia Confederación Hidrográfica del Ebro, que abarca desde el año hidráulico 1913-14 hasta el 1990-91 (con la excepción de los años comprendidos entre 1935-1936 y 1950-51, correspondientes a la guerra y postguerra civil española, en que no se obtuvieron registros), calculamos los caudales mensuales del mes de agosto, de lo que se deducen los siguientes resultados:

$$\bar{q} = \frac{\sum_{j=1}^{62} q_j}{N} = 144'45 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

$$S_q = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{24} q_j^2 - \frac{\left(\sum_{j=1}^{24} q_j\right)^2}{N}}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{24} (q_j - \bar{q})^2}{N-1}} \quad \forall j \in (1, 2, \dots, 24) = 73,41 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\sigma = 72'82 \text{ m}^3/\text{seg. (desviación típica del universo).}$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{q}} \times 100 = 50,41\%, \text{ que es el coeficiente de variación de Pearson (en}$$

el que se ha eliminado la influencia de la unidad de medida de los valores de la variable aleatoria estadística *caudal mínimo anual*).

El método de Gumbel que utilizamos en nuestro estudio resulta cómodo por la relativa sencillez de su aplicación, sobre todo cuando se

utiliza un gran volumen de datos. De hecho, este método ha sido utilizado “in extenso” en numerosos países, particularmente en trabajos hidrológicos, y la justificación principal de su empleo radica en haber estado sometido a prueba y contrastación de resultados con la realidad, en numerosas ocasiones, ofreciendo valores satisfactorios en la práctica. Por ello, también hemos creído conveniente aplicarlo aquí.

2.2.2. Periodo de retorno de 3 años

$$\begin{cases} p = (n-1)/n = 2/3 = 0'67 \\ y = -\ln (\ln 1/p) = 0'90387 \end{cases}$$

El cuadro correspondiente de cálculo de los diferentes valores de la y_i , en función de los años, es el siguiente:

PERÍODO DE RETORNO DE 3 AÑOS

i	$y_i = -\ln [\ln(n+1)/i]$
1	-0'32208
2	0'36673
3	1'25537

Fuente: Elaboración propia.

$$\begin{cases} \bar{y} = 0'43329 \\ S_y = 0'79075 \\ q_p = 144,45 - 0'5951059 \times 73'41 = 100'76 \text{ m}^3 / \text{seg.} \\ K = \frac{|y - \bar{y}|}{S_y} = \frac{|0'90387 - 0'43329|}{0'79075} = 0'5951059 \end{cases}$$

2.2.3. Periodo de retorno de 4 años

Operando de la misma forma, se obtiene:

$$\begin{cases} p = (n-1)/n = 3/4 = 0'75 \\ y = -\ln (\ln 1/p) = 1'25527 \end{cases}$$

El cuadro correspondiente de cálculo de los diferentes valores de la y_i , en función de los años, es el siguiente:

PERÍODO DE RETORNO DE 4 AÑOS

i	$y_i = -\ln [\ln(n+1)/i]$
1	-0'47623
2	0'08774
3	0'66745
4	1'50058

Fuente: Elaboración propia.

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{y} = 0'44489 \\ S_y = 0'84459 \\ q_p = 144,45 - 0'95949 \times 73'41 = 74'01 \text{ m}^3/\text{seg.} \\ K = \frac{|y - \bar{y}|}{S_y} = \frac{|1'25527 - 0'44489|}{0'84459} = 0'95949 \end{array} \right.$$

2.2.4. Periodo de retorno de 5 años

Operando de la misma forma, se obtiene:

$$\left\{ \begin{array}{l} p = (n-1)/n = 4/5 = 0'80 \\ y = -\ln (\ln 1/p) = 1'49994 \end{array} \right.$$

El cuadro correspondiente de cálculo de los diferentes valores de la y_i , en función de los años, es el siguiente:

PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS

i	$y_i = -\ln [\ln(n+1)/i]$
1	-0'58222
2	0'08618
3	0'36673
4	0'90387
5	1'70375

Fuente: Elaboración propia.

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{y} = 0'46119 \\ S_y = 0'88559 \\ q_p = 144'45 - 1'1732291 \times 73'41 = 58'32 \text{ m}^3 / \text{seg.} \\ K = \frac{|y - \bar{y}|}{S_y} = \frac{|1'49994 - 0'461191|}{0'88559} = 1'1732291 \end{array} \right.$$

2.2.5. Periodo de retorno de 10 años

Operando de la misma forma, se obtiene:

$$\begin{cases} p = (n-1)/n = 9/10 = 0'90 \\ y = -\ln (\ln 1/p) = 2'2634 \end{cases}$$

El cuadro correspondiente de cálculo de los diferentes valores de la y_i , en función de los años, es el siguiente:

PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS

i	$y_i = -\ln [\ln(n+1)/i]$
1	-0'87547
2	-0'55389
3	-0'26236
4	-0'00995
5	0'23826
6	0'50418
7	0'78307
8	1'15836
9	1'61445
10	2'35388

Fuente: Elaboración propia.

$$\begin{cases} \bar{y} = 0'49505 \\ S_y = 1'00578 \\ q_p = 144'45 - 1'7581877 \times 73'41 = 15'38 \text{ m}^3 / \text{seg.} \\ K = \frac{|y - \bar{y}|}{S_y} = \frac{|2'2634 - 0'49505|}{1'00578} = 1'7581877 \end{cases}$$

Como se puede apreciar, la considerable cuantía de la dispersión relativa de los caudales ($CV > 50 \%$) invalida la estimación basada en los caudales de los meses de agosto de la serie cronológica.

2.2.6. Periodo de retorno de 15 años

Operando de la misma forma, se obtiene:

$$\begin{cases} p = (n-1)/n = 14/15 = 0'93 \\ y = -\ln (\ln 1/p) = 2'2688 \end{cases}$$

El cuadro correspondiente de cálculo de los diferentes valores de la y_i , en función de los años, es el siguiente:

PERÍODO DE RETORNO DE 15 AÑOS

i	$y_i = -\ln [\ln(n+1)/i]$
1	-1,01885
2	-0,73237
3	-0,51282
4	-0,32930
5	-0,14842
6	0,01816
7	0,18754
8	1,36673
9	0,55165
10	0,75502
11	0,99155
12	1,25527
13	1,57504
14	1,91054
15	2,84731

Fuente: Elaboración propia.

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{y} = 0'514 \\ S_y = 1'063 \\ q_p = 144'45 - 2,0451552 \times 73'41 = -5'68 \text{ m}^3 / \text{seg.} \\ K = \frac{|y - \bar{y}|}{S_y} = \frac{|2'688 - 0'5141|}{1'063} = 2'0451552 \end{array} \right.$$

Al obtener una estimación negativa del caudal, no procede continuar el cálculo.

2.2.7. Caudales según periodos de recurrencia

Con los resultados obtenidos, podemos elaborar la siguiente tabla, de la que después deduciremos, mediante un ajuste estadístico por regresión no lineal mínimo-cuadrática, la ecuación de la “función de retorno” correspondiente:

Período de retorno n (años)	Caudales mes de agosto (m ³ /seg.)	Probabilidades
3	100'76	0'67
4	74'01	0'75
5	58'32	0'80
10	15'38	0'90
15	-5'68	0'93

Tabla 8. Caudales en agosto según periodos de recurrencia.

El ajuste efectuado es el siguiente:

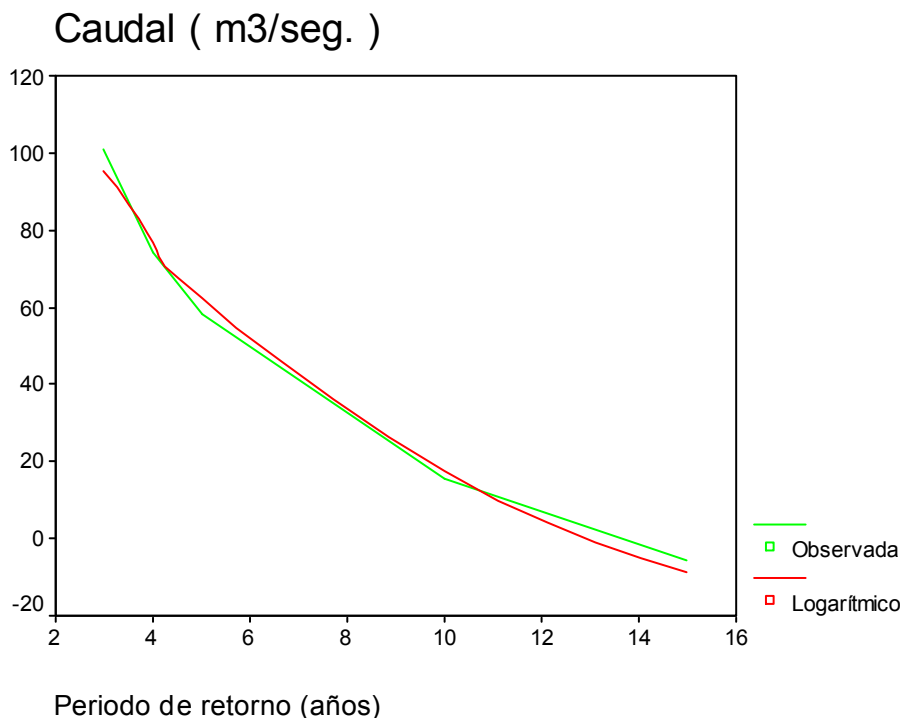
Estimación curvilínea caudal mes de agosto

Se trata de la función semilogarítmica natural o neperiana:

$$q = 166,508 - (64,773 \cdot \ln n)$$

Variable Independiente: Periodo de retorno

Dependent Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1
Caudal	LOG	,991	3	336,19	,000	166,508 -64,773



ANALISIS DE LA VARIANZA

Dependent variable.. Caudal Method.. LOGARITH

Multiple R ,99557
R Square ,99116
Adjusted R Square ,98821
Standard Error 4,70563

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	7444,2612	7444,2612
Residuals	3	66,4288	22,1429

F = 336,19109 Signif F = ,0004

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
Periodo de retorno	-64,772505	3,532625	-,995568	-18,336	,0004
(Constant)	166,508471	6,768364		24,601	,0001

Como se puede comprobar, dicho ajuste mínimocuadrático constituye una correlación negativa prácticamente perfecta (inversa) entre las 2 variables del problema planteado (**q** y **n**). También los ajustes polinómicos ofrecen excelentes resultados, sobre todo a partir de la parábola o función polinómica de tercer grado.

Veamos que la transformación semilogarítmica natural o neperiana relacionada adopta la configuración matemática:

$$q = b_0 + b_1 \cdot \ln n, \text{ con lo que:}$$

$$\frac{dq}{dn} = \frac{b_1}{n} = -\frac{64'733}{n},$$

y, de este modo, la pendiente de la curva decrece claramente a medida que aumenta el período de retorno **n**.

Por otra parte, cuando $q = 0 \text{ m}^3/\text{seg.}$ tendremos que:

$$\ln n = -\frac{b_0}{b_1}, \text{ razón por la cual el punto de intersección con el eje de}$$

abscisas se encuentra situado en el punto de coordenadas cartesianas rectangulares: $(e^{-\frac{b_0}{b_1}}, 0)$. En el caso que nos ocupa, a este punto le corresponde, justamente, un período de recurrencia de:

$$n = e^{-\frac{b_0}{b_1}} = e^{-\frac{166'508}{64'773}} = 13'07 \text{ años.}$$

La inversa de esta función es:

$n = e^{-\frac{b_0}{b_1}} \cdot e^{\frac{q}{b_1}}$ que, de forma abreviada, vendría dada por la expresión simplificada:
 $n = \alpha \times \beta^q$, donde:

$$\alpha = e^{-\frac{b_0}{b_1}} = 13'07, \text{ y: } \beta = e^{\frac{1}{b_1}} = e^{\frac{1}{64'733}} = 0'985,$$

con lo que se tendrá la expresión potencial: $n = 13'07 \cdot 0'985^q$.

Otras consideraciones conceptuales y metodológicas derivan, precisamente, del estudio de esta función explícita y real de la variable real. Efectivamente, hay una asíntota o rama hiperbólica vertical coincidiendo con el eje de ordenadas, ya que:

$$\lim_{n \rightarrow 0} (A + B \times \ln n) = +\infty$$

Por otro lado, cuando $n \rightarrow \infty$ también la $q_p \rightarrow \infty$, lo cual podría hacer pensar en la existencia de alguna asíntota oblicua, circunstancia ésta que haría falta descubrir. En efecto:

$$\begin{aligned} m &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{q_p}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{A}{n} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{B \times \ln n}{n} = 0 + B \times \lim_{n \rightarrow \infty} \ln n^{\frac{1}{n}} = 0 + B \times \lim_{n \rightarrow \infty} \ln \sqrt[n]{n} = \\ &= (\text{criterio de Stolz de la raíz}) = 0 + B \times \lim_{n \rightarrow \infty} \ln \frac{n}{n^{n-(n-1)}} = \\ &= 0 + B \times \lim_{n \rightarrow \infty} \ln \frac{n}{n-1} = 0 + B \times \ln 1 = 0 \end{aligned}$$

, razón por la que existe una rama parabólica horizontal (según el eje de abscisas).

2.3. Cálculo de los periodos de retorno para los caudales de la estación seca

2.3.1. Caudales en el periodo estival

Considerando, ahora, los caudales correspondientes al trimestre estival (meses de julio, agosto y septiembre), vemos que:

$$\bar{q} = \frac{\sum_{j=1}^{62} q_j}{N} = 194'85 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

$$S_q = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{24} q_j^2 - \frac{\left(\sum_{j=1}^{24} q_j\right)^2}{N}}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{24} (q_j - \bar{q})^2}{N-1}} \quad \forall j \in (1, 2, \dots, 24) = 89,20 \quad \text{m}^3/\text{seg.}$$

Además:

$\sigma = 88,48 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (desviación típica del universo o población), con lo que:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{q}} \times 100 = 45,41\%, \text{ que es el coeficiente de variación de Pearson (en el } \bar{q} \text{ que se ha eliminado la influencia de la unidad de medida de los valores de la variable aleatoria estadística que, en nuestro caso, es el caudal del periodo estival).}$$

que se ha eliminado la influencia de la unidad de medida de los valores de la variable aleatoria estadística que, en nuestro caso, es el *caudal del periodo estival*).

2.3.2. Periodo de retorno de 3 años

Aplicando la misma metodología que en el caso anterior, se tiene:

$$q_p = 194'85 - 0'5951059 \times 89'20 = 141'77 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

2.3.3. Periodo de retorno de 4 años

$$q_p = 194'85 - 0'95949 \times 89'20 = 109'26 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

2.3.4. Periodo de retorno de 5 años

$$q_p = 194'85 - 1'1732291 \times 89'20 = 90'20 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

2.3.5. Periodo de retorno de 10 años

$$q_p = 194'85 - 1'7581877 \times 89'20 = 38'02 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

2.3.6. Periodo de retorno de 15 años

$$q_p = 194'85 - 2'0451552 \times 89'20 = 12'42 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

No procede continuar con periodos de retorno mayores, al resultar negativa la estimación del caudal.

2.3.7. Caudales según periodos de recurrencia

En base a las mismas consideraciones efectuadas para el caso anterior de los caudales mínimos mensuales (mes de agosto), la “función de retorno” correspondiente a la estación seca o periodo estival se deducirá de la siguiente tabla:

Período de retorno n (años)	Caudales estación seca (m ³ /seg.)	Probabilidades
3	141'77	0'67
4	109'26	0'75
5	90'20	0'80
10	38'02	0'90
15	12'42	0'93

Tabla 9. Caudales en la estación seca según periodos de recurrencia.

El ajuste efectuado es el siguiente:

Estimación curvilínea caudal periodo estival

Se trata de la función semilogarítmica natural o neperiana:

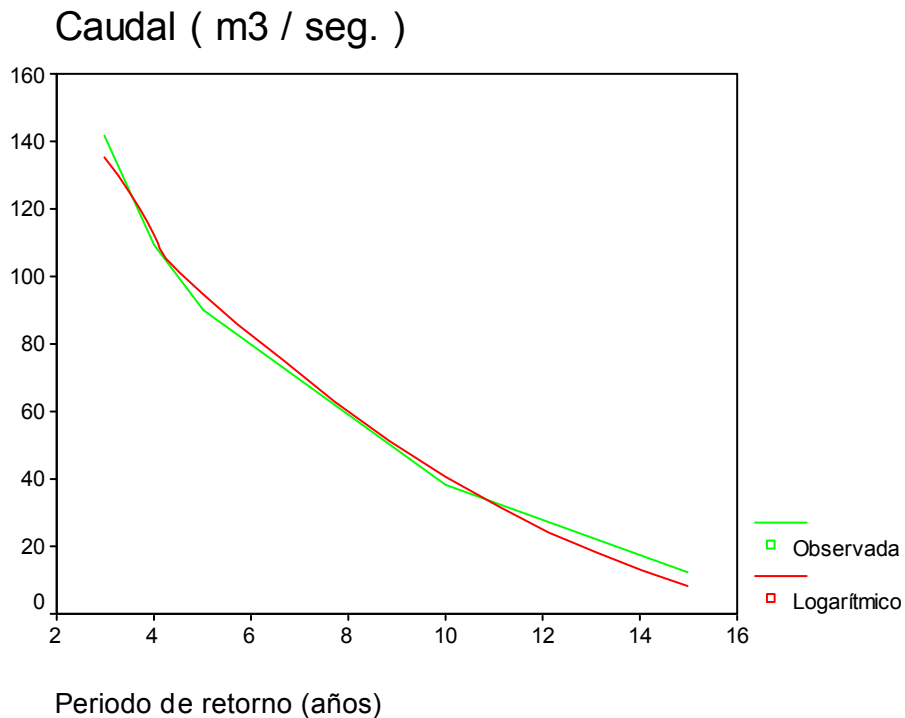
$$q = 221,668 - (78,712 \cdot \ln n)$$

Variable independiente: Periodo de retorno

Dependent Mth Rsq d.f. F Sigf b0 b1

Caudal LOG ,991 3 336,39 ,000 221,668 -78,712

Las representaciones gráficas de ambas funciones (la observada y su ajuste semilogarítmico minimocuadrático) pueden verse a continuación:



ANALISIS DE LA VARIANZA

Dependent variable.. caudal Method.. LOGARITH

Listwise Deletion of Missing Data

Multiple R ,99557
 R Square ,99116
 Adjusted R Square ,98821
 Standard Error 5,71660

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	10993,181	10993,181
Residuals	3	98,039	32,680

F = 336,39330 Signif F = ,0004

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
Periodo de retorno	-78,712115	4,291587	-,995571	-18,341	,0004
(Constant)	221,668443	8,222503		26,959	,0001

También en este caso se produce una correlación negativa prácticamente perfecta (inversa). Aquí:

$$\frac{dq}{dn} = \frac{b_1}{n} = -\frac{78'712}{n}$$

$$\text{Cuando } q = 0 \text{ m}^3/\text{seg.}, \ln n = -\frac{b_0}{b_1} = \frac{221'668}{78'712} = 2'8162,$$

con lo que: $n = \text{anti ln } 2'8162 = 16'71 \text{ años.}$

Por último, la función que nos ocupa, con la misma configuración analítica que la anterior, posee una rama parabólica horizontal (según el eje de abscisas).

2.4. Cálculo de los periodos de retorno para diversos caudales de referencia

En el estudio completo a efectuar, se debe incluir también el mes de junio en el período estival o estación seca, en que según el PHN-2001 no se podía trasvasar, y efectuar los análisis de los periodos de retorno de 2 años. Por último, deben calcularse las funciones de retorno para los tres supuestos estudiados (agosto, trimestre estival, cuatrimestre seco) y hallar los períodos de retorno o recurrencia correspondientes a cada uno de los caudales mínimos propuestos por las diferentes Instituciones y metodologías empleadas (100, 135, 269 m³/seg., ...).

Así mismo, como podrá comprobarse posteriormente, el caudal mínimo medioambiental correspondiente al mes de agosto se evalúa en 79 m³/seg., que corresponde a un período de retorno de:

$$n = 13'07 \cdot 0'985^{79} = 3'96 \text{ años} \cong 4 \text{ años}$$

, aunque después dicho caudal mínimo se eleva a 100 m³/seg. siguiendo las especificaciones contenidas en el propio Plan de Cuenca.

Del mismo modo, en el período estival (meses de julio, agosto y septiembre), se tendrá que:

$$\alpha = e^{-\frac{b_0}{b_1}} = e^{-\frac{221'668}{78'712}} = 16'71, \text{ y}$$

$$\beta = e^{\frac{1}{b_1}} = e^{\frac{1}{78'712}} = 0'987,$$

con lo que se tendrá la expresión potencial:

$$n = 16'71 \cdot 0'987^q,$$

que, teniendo en cuenta el caudal mínimo ponderado asignado al trimestre estival, a saber:

$$q = \frac{135 \times 31 + 79 \times 31 + 107 \times 30}{92} = 107 \text{ m}^3 / \text{seg.},$$

al que corresponde un período de retorno de:

$$n = 16'71 \cdot 0'987^{107} = 4'12 \cong 4 \text{ años}$$

Se observa, en definitiva, que en ambos casos estudiados hasta ahora (mes de agosto y trimestre estival) los períodos de retorno de los caudales mínimos medioambientales resultantes de nuestro estudio oscilan alrededor de 4 años.

Veamos, por último, que considerando toda la serie histórica de 60 años estudiados (desde el año hidráulico 1913/1914 hasta el 1988/89), para unos períodos de retorno de 4, 5 y 10 años, respectivamente, se tendrían los siguientes caudales medios anuales esperables:

n = 4 años:

$$q_p = 495'55 - 0'95949 \cdot 172'4 = 330'1 \text{ m}^3/\text{seg.} \equiv 10.410 \text{ hm}^3/\text{año}$$

n = 5 años:

$$q_p = 495'55 - 1'1732291 \cdot 172'4 = 293'3 \text{ m}^3/\text{seg.} \equiv 9.250 \text{ hm}^3/\text{año}$$

n = 10 años:

$$q_p = 495'55 - 1'7581877 \cdot 172'4 = 192'4 \text{ m}^3/\text{seg.} \equiv 6.069 \text{ hm}^3/\text{año},$$

con lo que el caudal mínimo propuesto de $269 \text{ m}^3/\text{seg.} \equiv 8.483 \text{ hm}^3/\text{año}$, tiene un periodo de retorno superior al quinquenio. Debe tenerse en cuenta, por otra parte, que de haber considerado en este estudio el periodo 1912/13 al 2003/04, el caudal medio anual sería del orden de $452'5 \text{ m}^3/\text{seg.} \equiv 14.270 \text{ hm}^3/\text{año}$ (véase anexo nº: 1), lo que modificaría ligeramente a la baja los resultados obtenidos.

Al igual que hemos realizado con los restantes periodos estudiados, la “función de retorno” correspondiente a los caudales medios anuales se deducirá de la siguiente tabla:

Período de retorno n (años)	Caudales medios anuales (m³/seg.)	Probabilidades
3	393'0	0'67
4	330'1	0'75
5	293'3	0'80
10	192'4	0'90
15	143'0	0'93

Tabla 10. Caudales medios anuales esperables según periodos de recurrencia.

En este caso, el ajuste efectuado es el siguiente:

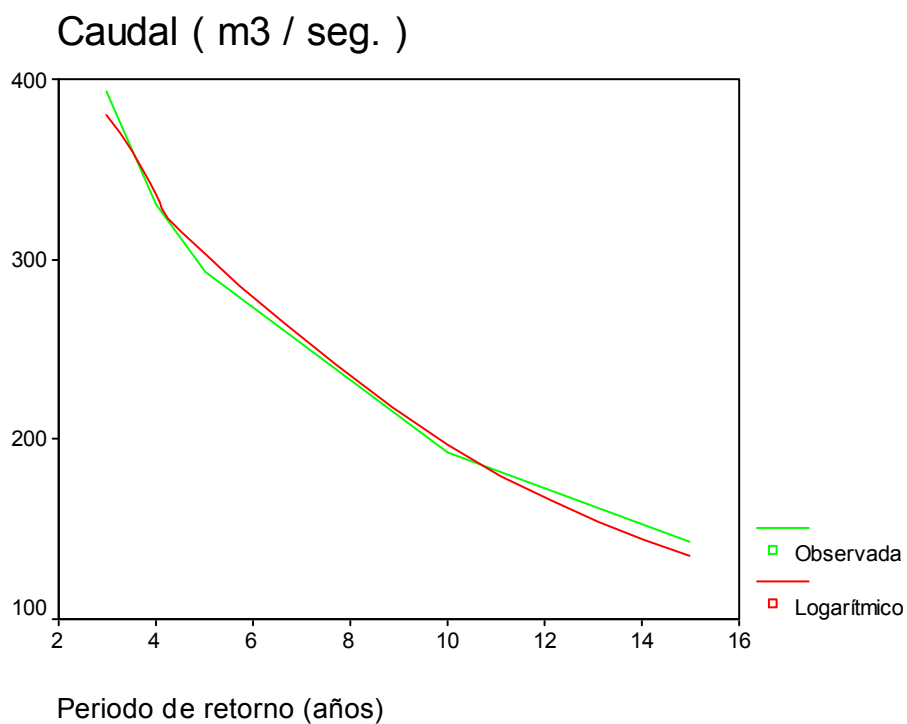
Estimación curvilínea caudal anual

Se trata de la función semilogarítmica natural o neperiana:

$$q = 547,391 - (152,13 \cdot \ln n)$$

Variable Independiente: Periodo de retorno

Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1
Caudal	LOG	,991	3	334,47	,000	547,391	-152,13



ANALISIS DE LA VARIANZA

Variable Dependiente .. Caudal Method.. LOGARITH

Listwise Deletion of Missing Data

Multiple R ,99555
R Square ,99111
Adjusted R Square ,98815
Standard Error 11,08047

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	41065,682	41065,682
Residuals	3	368,330	122,777

F = 334,47447 Signif F = ,0004

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
P. de retorno	-152,131592	8,318364	-,995545	-18,289	,0004
(Constant)	547,391017	15,937641		34,346	,0001

También, en este caso, se produce una correlación negativa prácticamente perfecta (inversa), con:

$$\frac{dq}{dn} = \frac{b_1}{n} = -\frac{152'13}{n}$$

$$\text{Cuando } q = 0 \text{ m}^3/\text{seg.}, \ln n = -\frac{b_0}{b_1} = \frac{547'391}{152'13} = 3'5982,$$

con lo que $n = \text{anti ln } 3'5982 = 36'53$ años.

Veamos, en fin, que también en este caso la función que nos ocupa, con la misma configuración analítica que la anterior, posee una rama parabólica horizontal (según el eje de abscisas).

CAPÍTULO 7

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÍNIMO MEDIOAMBIENTAL MEDIO ANUAL

1. DETERMINACIONES DE OTROS AUTORES

Tal como puede verse en nuestro libro titulado “Cinco temas de Hidrología e Hidráulica”, Cap. V, pp. 335 y ss., citado en la bibliografía, existen algunos trabajos de otros autores que proponen la fijación de un caudal mínimo medioambiental para el tramo final del río Ebro. Conviene, en este sentido, hacer referencia a los estudios del Dr. Narcís Prat, catedrático de la Universidad de Barcelona (Departamento de Ecología, Facultad de Biología), que sintetizaremos en el presente apartado.

La gestión alternativa del agua en el tramo inferior del Ebro debe basarse en un sistema que sitúe en pie de igualdad los usos del agua con la preservación de los valores ambientales, sociales y económicos de la zona. El régimen hídrico del río debe respetar y conjugar adecuadamente todas estas características¹⁸.

Con estas premisas básicas, antes de abordar cualquier planificación es **imprescindible establecer un sistema integrado de gestión** de toda la parte baja del Delta -desde el conjunto Mequinenza/Ribarroja/Flix hasta el mar-, fundamentado en estudios científicos previos que determinen cuales han de ser los principales criterios que deben dirigir la gestión de los caudales de agua y sedimentos. Este sistema debe ser **interdisciplinar, dando cabida a todos los usuarios, aunque debe ser independiente de ellos y con una marcada presencia de científicos, técnicos y conservacionistas, encargados de asegurar que la garantía de agua para todos los usos quede supeditada al buen estado ecológico del río y del Delta.**

Para mantener la funcionalidad ecológica, social y económica del río, el sistema de gestión debe contemplar varios apartados, para los cuales a continuación se definen también los caudales y regímenes hídricos que se evalúan como necesarios (ver también la tabla siguiente):

- Un caudal mínimo para contener el ascenso de la **cuña salina** en la zona de Deltebre en los momentos de caudales bajos. Esto implica mantener una reserva de agua en los embalses para estos

¹⁸ Vide PRAT, N. en “Afecciones al Bajo Ebro derivadas del PHN, alternativas y necesidad de un nuevo modelo de gestión del agua”.

finés. Esta necesidad se evalúa en torno a 3.500 hm³/año (150 m³/s.).

- Un caudal mínimo en los meses de invierno que mantenga los fondos del río en constante remoción y asegure su oxigenación y que, al mismo tiempo, circunscriba la cuña salina a la zona estuarina final del río. Serán necesarios 3.100 hm³/año (prácticamente unos 400 m³/s. durante 3 meses).
- Un régimen de **crecidas que permita a la vez transportar sedimentos al Delta y provocar los mecanismos de afloramiento** de aguas marinas que aumenten la producción pesquera (para este último caso las avenidas deben ser en primavera). El transporte de 5 millones de toneladas de sedimentos necesita de unos 1.000 m³/s. unos 57,8 días. Descontando los 400 m³/s. ya considerados en el apartado anterior, esto supone un régimen de 600 m³/s. más durante estos 57,8 días, es decir, un total de 3.000 hm³ /año.
- Un caudal para **gestionar las anoxias en la cuña salina**, soltando durante 20 días (en verano) caudales de 400 m³/s. Ello se debe realizar por lo menos 2 veces al año en los años medios; es decir, se deben añadir 865 hm³ al total (en esta cifra ya se han descontado los 150 m³/s. de caudal mínimo del primer apartado).
- Agua para los **regantes** (que se deriva en Xerta-Tivenys y por lo tanto hay que descontarla si se pretende gestionar adecuadamente la cuña salina). Actualmente, se estima en unos 824 hm³/año. Si se disminuyeran los arrozales en un cuarto de su superficie (máximo aceptable sin un profundo análisis detallado de posibles impactos) y considerando el agua necesaria para los humedales que sustituirían a los arrozales, las necesidades estarían sobre los 670 hm³/año.
- Agua para el denominado **minitravase a Tarragona**: 126 hm³/año, que gestiona el CAT.
- Agua para las **medidas agroambientales** (inundación de otoño): 190 hm³/año.

De este modo, las necesidades hídricas estimadas para el tramo final del Ebro pueden resumirse en la siguiente tabla:

NECESIDADES HÍDRICAS	CAUDAL (hm ³ /año)
Contener la cuña salina	3.500
Caudal mínimo invernal	3.100
Crecidas para sedimentos y afloramiento marino	3.000
Gestionar las anoxias en la cuña salina	865
Agua para los regantes	824 (670)
Minitrasvase a Tarragona (CAT)	126
Medidas agroambientales	190
TOTAL	11.605 (11.451)

Tabla 11. Necesidades hídricas para el tramo final, según N. Prat.

En total pues, las necesidades básicas o mínimas (volumen anual mínimo) son del orden de los 11.605 hm³/año (equivalentes a 368 m³/s. en caudal ficticio continuo, aguas arriba del azud de Xerta-Tivenys), caudal que sería imposible garantizar si se realizasen las actuaciones inicialmente previstas en el PHN-2001 y que, además, en los 20 años del periodo comprendido entre los años hidráulicos 1979/80 y 1998/99, ha sido solamente superado en cinco ocasiones (el 25% del tiempo total).

Según los datos expuestos, por tanto, resultaba imposible garantizar un trasvase de 1.050 hm³/año como el inicialmente previsto en el PHN, felizmente derogado con posterioridad, si lo que se desea es diseñar un sistema de gestión adecuado para el mantenimiento de los usos y necesidades ambientales del tramo final del río Ebro. La idea de llevar a cabo aquellas transferencias en el futuro, en consecuencia, debe ser definitivamente desterrada.

Por otra parte, las futuras perspectivas de reducción de las aportaciones por el efecto combinado del aumento progresivo de cobertura forestal de la cuenca y del cambio climático, merecen una atención especial e ineludible de cara a la planificación futura del uso de los recursos hídricos de la cuenca del Ebro. Hay que tener en cuenta, en fin, que las drásticas consecuencias del cambio climático sobre los recursos hídricos para la cuenca del Ebro podrían suponer una pérdida del 16% de dichos recursos hacia el año 2060.¹⁹

Las razones por las cuales se modificó el Plan Hidrológico Nacional del 2001 vienen suficientemente razonadas en la Exposición de

¹⁹ Vide AYALA-CARCEDO, F.J. E IGLESIAS, A. 2000. Impactos del posible cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España Peninsular. *El Campo de las Ciencias y las Artes* 137:201-222. Citado en la bibliografía.

Motivos de la Ley 11/2005, de 22 de junio, que por su importancia transcribimos textualmente a continuación:

“El Plan Hidrológico Nacional, aprobado por la Ley 10/2001, de 5 de julio, incluye en el capítulo III del título I las previsiones ligadas a las transferencias de agua entre el Bajo Ebro y las cuencas hidrológicas internas de Cataluña, del Júcar, del Segura y del Sur, bajo unos supuestos objetivos de racionalidad, eficiencia socioeconómica y ambiental, que distintos informes técnicos han puesto en entredicho, al considerar que en una decisión de tanto calado como la de llevar a cabo el trasvase no han merecido la debida atención y tratamiento aspectos fundamentales, entre los que cabe destacar los siguientes:

a) En su dimensión económica, en tanto se han exagerado los beneficios del proyecto, sus costes aparecen sistemáticamente infravalorados y, en algunos casos ni siquiera han sido tomados en consideración; la estructura de precios para la industria, la agricultura y los consumidores no ha sido suficientemente bien explicada; no se ha aclarado si se aplicarían tarifas diferentes según los territorios, ni cómo establecerían los acuerdos en materia de precios; los beneficios positivos, en términos de creación de empleo, han sido sobreestimados, y la relación entre el precio y la demanda no está bien contemplada.

b) En cuanto a las repercusiones ambientales, no se han analizado adecuadamente los efectos de una posible reducción de las cantidades de agua a trasvasar, y no se han despejado las incertidumbres sobre el caudal futuro del Ebro; no se han adoptado las medidas necesarias para la protección del río Ebro y en particular del Delta; no se ha asegurado la protección de las especies protegidas existentes, contrariamente a lo exigido por la legislación comunitaria sobre hábitats; existe un riesgo real de propagación de especies invasoras; en la evaluación de impacto ambiental y sus documentos asociados no se recoge ninguna información sobre la toma y la distribución del agua del trasvase, ni sobre los bombeos de agua y las instalaciones eléctricas necesarias, aspecto clave para determinar el consumo de energía que requieren y su impacto en el cumplimiento por España del Protocolo de Kyoto; tampoco se ha informado en el trámite de consulta sobre el aumento de salinidad previsto tanto en la cuenca cedente como en las cuencas receptoras, pospuesta a estudios futuros, que pueden llegar cuando el daño sea ya irreparable.

c) Y en cuanto a los aspectos técnicos, ha de subrayarse la ausencia del rigor necesario en los estudios sobre la disponibilidad efectiva de agua para trasvasar, de forma que no es posible determinar cuánta agua puede ser transferida, ni con qué garantías, existiendo por otra parte un margen de duda excesivo sobre la capacidad de los embalses previstos para almacenar el agua en las cuencas receptoras.

Estas acusadas y graves deficiencias en los criterios que prestan soporte al trasvase han quedado corroboradas en buena medida por la valoración sumamente crítica que en distintas fases y trámites ha merecido el proyecto a las autoridades comunitarias, lo que resulta determinante para estimar que las posibilidades de obtener financiación con cargo tanto a Fondos de Cohesión como al FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) para un proyecto de las características descritas resultan prácticamente inexistentes.

Por otro lado, de realizarse el señalado trasvase no quedaría garantizado el cumplimiento de las cautelas ambientales y socioeconómicas previstas en la legislación de aguas, destinadas a garantizar que en ningún caso el desarrollo futuro de la cuenca cedente pueda verse comprometido por la transferencia, ni quedaría asegurada la obligada circulación del caudal ambiental aguas abajo de la toma de derivación y el mantenimiento de los ecosistemas asociados, tal y como expresamente exige la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco sobre Política de Aguas), patrón por el que deberán perfilarse las políticas hidráulicas de los Estados miembros en el siglo XXI.

De acuerdo con la citada Directiva europea, las transferencias entre cuencas sólo deben plantearse cuando se hayan optimizado los recursos hídricos de cada cuenca; y, en todo caso, cualquier actuación hidráulica debe ser compatible con el mantenimiento de los caudales que garanticen la calidad ecológica de las aguas. Ello es aplicable, evidentemente, a la única transferencia de agua de importancia significativa existente en España, el trasvase Tajo-Segura, cuya utilización deberá ajustarse, estrictamente, a las condiciones establecidas en la legislación vigente.

Adicionalmente, el exigible principio de recuperación de los verdaderos costes asociados al trasvase, haría inviable económicamente la utilización de los recursos aportados para el regadío y retrasaría en el tiempo la puesta en marcha de soluciones a problemas que son ya muy urgentes, mientras que existen alternativas técnicamente más recomendables, ligadas a la gestión de la demanda, a la utilización de desaladoras y a la reutilización de recursos, que pueden atender una demanda justificada y legítima, paliar la sobreexplotación y contaminación de acuíferos, y asegurar el mantenimiento de los ecosistemas de interés natural, garantizando un uso más racional y sostenible de los recursos hidráulicos.

El panorama descrito lleva a considerar que el trasvase proyectado cuestiona gravemente los principios que la propia Ley 10/2001, de 5 de julio, establece en el artículo 12...”

2. NUESTRAS PROPUESTAS

Una vez expuestos estos conceptos fundamentales e introductorios, vamos a pasar a realizar una descripción más exhaustiva del método que aquí se ha seguido para evaluar el caudal mínimo medioambiental necesario para el tramo inferior del río Ebro, considerando como tal el comprendido entre la presa de Flix y la desembocadura deltaica en el mar Mediterráneo, y dividido, a su vez, en tres subtramos.

En anteriores apartados de nuestro trabajo ya se ha ido apuntando la diversidad de metodologías existentes para la estimación de los caudales ecológicos mínimos de los cauces naturales. La metodología que aquí se desarrolla no pretende, ni mucho menos, ni ser la única o exclusiva ni la mejor de todas ellas: constituye sólo una propuesta más que creemos digna de ser comparada con las otras y posteriormente, del conjunto de ellas - cuantas más mejor- poder extraer unas conclusiones suficientemente válidas y aceptables, que deberán pasar también por el complicado tamiz del consenso social y político de los territorios afectados (fundamentalmente, la propia cuenca hidrográfica). Y ello es así porque, con frecuencia, la simple cuantificación o variabilidad de los coeficientes empleados en las diversas formulaciones o modelos nos pueden alterar substancialmente los resultados a obtener.

Establecidos ya en los epígrafes anteriores los principios o definiciones previas referentes al caudal mínimo medioambiental, conviene fijar su cuantía media anual y distribuirla posteriormente según el hidrograma del año hidráulico que viene observándose, a lo largo de una extensa serie histórica o cronológica, en el tramo inferior del río Ebro, concretamente en la estación de aforos número 027 de la CHE en Tortosa.

Cuando se verifica una precipitación, al aproximarse el agua al suelo, una parte de ella se evapora; del resto, una fracción se infiltra y percola en el terreno y otra discurre por la superficie del mismo. La parte que se infiltra alimenta los acuíferos y mantiene los niveles piezométricos, con lo que, bajo nuestro punto de vista, sólo tiene interés en lo que afecta a la regulación de las aguas subterráneas cuando se trata de aplicar el sistema de infiltración-percolación. La fracción que discurre por la superficie del suelo está ligada a la escorrentía, definiendo GARCÍA NÁJERA el coeficiente de escorrentía ε para una cuenca a intervalo determinado, como la relación entre el caudal total desaguado en aquel intervalo y el volumen de precipitaciones caídas en la cuenca durante el mismo.

Si el coeficiente ϵ se toma en valores anuales, KÉLLER indica la fórmula:

$$\epsilon = \frac{1'000}{0'942 - \frac{400}{N}}, \text{ donde:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon = \text{Coeficiente de escorrentía.} \\ N = \text{Altura anual de lluvia (en mm).} \end{array} \right.$$

Las cifras indicadas son los valores medios y extremos entre los que pueden variar los coeficientes expresados. Cuando se trata de aguaceros, varía mucho según sea el suelo que los recibe. Si se trata de suelos secos, habrá una gran diferencia con los suelos saturados (por vertidos o precipitaciones anteriores), dependiendo todo ello de la capacidad de infiltración del momento.

Es muy interesante observar los valores de un coeficiente relacionado con los **caudales mínimos de las cuencas** y con sus regímenes de lluvias. Nos referimos al coeficiente λ en la fórmula de ISZKOWSKI:

$$Q_{\min} = 0,0063 \cdot \lambda \cdot \epsilon \cdot N \cdot F \text{ (asimilable al caudal ecológico), donde:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon = \text{Coeficiente de escorrentía anual.} \\ N = \text{Precipitación media de la cuenca tributaria (en m)} \\ F = \text{Superficie de la cuenca (en km}^2\text{)} \\ Q_{\min} = \text{Gasto mínimo de estiaje (en m}^3\text{/seg)} \\ \lambda = \text{Coeficiente que depende de la naturaleza de la cuenca aportadora.} \end{array} \right.$$

Este coeficiente, como decimos, varía con la naturaleza de la superficie de la cuenca (es decir, del suelo receptor de la precipitación estudiada), como se observa en el cuadro adjunto.

TIPO DE SUELO	Valores de λ
Terreno normal por su naturaleza y vegetación	1,0
Ríos regulados por lagos	1,5
Terreno permeable con poca vegetación	0,4
Terreno poco permeable con vegetación	0,8
Terreno impermeable en las partes llanas	entre 1,0 y 1,5
Terreno impermeable en cerros	entre 0,8 y 0,5
Terreno impermeable en las montañas, decreciendo con la vegetación	entre 0,6 y 0,3
Arroyos y barrancos	entre 0,3 y 0

Tabla 12. Valores del coeficiente λ para diferentes tipos de suelo.

En nuestro caso, debe tenerse en cuenta que la precipitación media de la cuenca del Ebro (de la mayor serie histórica de datos que se dispone) es de 656 mm. anuales, con lo que, siempre por el lado de la prudencia, el coeficiente de escurrimiento medio de la cuenca alcanzaría un valor de:

$$C = 1'000 - 350/656 = 0'47$$

que podría elevarse perfectamente a $\epsilon = 0,50$, a falta de otras estimaciones más precisas y particularizadas, teniendo en cuenta las determinaciones de la Instrucción de Carreteras y otras reglamentaciones técnicas de aplicación al caso.

Teniendo en cuenta, además, que la cuenca del Ebro es la más regulada de las cuencas hidrográficas españolas, debido a la existencia de numerosos embalses, adoptaremos un $\lambda = 1,50$ en base a la tabla anterior, con lo que se tendría a un caudal mínimo de:

$$Q_{\min} = 0,0063 \times 1,50 \times 0,50 \times 0,656 \times 85.534,2 = 265 \text{ m}^3/\text{seg.},$$

a los que se deberían agregar los 4 m³/seg que autoriza, como máximo, la Ley 18/1981, de 1 de julio (BOE nº: 165 del 11/07/81, pág. 15.867 y ss.) conocida como del “minitransvase” para el abastecimiento de municipios e industrias de Tarragona, cuya toma de aguas tiene lugar en la pedanía de Campredó, aguas debajo de Tortosa. O sea, que aguas abajo del azud de Xerta-Tivenys, dicho caudal mínimo debería ser del orden de 269 m³/seg = 8.483 hm³/año, distribuido de acuerdo con el hidrograma natural del río que ya se ha deducido del estudio de la “función del caudal anual normalizada” que hemos visto en el epígrafe 4 del anejo 1.1. (“Análisis estadístico de los caudales”), mientras que aguas debajo de la toma o derivación del Consorcio de Aguas de Tarragona (CAT) dicho caudal quedaría establecido en 265 m³/seg = 8.357 hm³/año. También debería contemplarse en este subtramo, de confirmarse su realización, la dotación punta prevista para el abastecimiento de los riegos de Aldea-Camarles, del orden de 2 m³/seg.

Alternativamente, veamos que según los datos del “Atlas Nacional de España” (MOPTMA, julio de 1993), referidos a la estación de aforos nº: 27 (Tortosa), se tiene que la precipitación media anual sobre la cuenca del Ebro en el período 1943-44 a 1968-69 fue de $P_n = 52.906 \text{ hm}^3$, lo que supone una altura anual media de lluvia de:

$$N = \frac{P_n}{F} = \frac{52.906'0}{85.534'2} = 0'619 \text{ m.} = 619 \text{ mm.}$$

Por otra parte, la aportación media anual sobre la cuenca, en el mismo período considerado, fue de $A_n = 15.586 \text{ hm}^3$, de lo que se deduce una escorrentía media de:

$$L_n = \frac{1.000 \times A_n}{F} = \frac{1.000 \times 15.586}{85.534'2} = 182'2 \text{ mm.}$$

que implica un coeficiente de escorrentía anual de:

$$\epsilon = \frac{L_n}{N} = \frac{182'2}{619} = 0'294 \cong 0'30.$$

De este modo, se tendrá un déficit anual de escorrentía de:

$$D = N - L_n = 619 - 182'2 = 436'8 \text{ mm.}$$

En este caso, con los nuevos datos, el coeficiente anual de la cuenca, según KÉLLER, valdría:

$$\epsilon = 1'000 - \frac{350}{619} = 0'44 \text{ que, como se ha considerado anteriormente,}$$

y a falta de otras estimaciones específicas, podría elevarse a $\epsilon = 0'50$.

De cualquier modo, la anterior formulación de ISZKOWSKI, con los nuevos datos relacionados, ofrecería un caudal mínimo de estiaje de:

$$Q_{\min.} = 0'0063 \times 1'50 \times 0'30 \times 0'619 \times 85.534'2 = 150'10 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Es posible, complementariamente, contrastar los cálculos efectuados hasta ahora con los dimanantes de la formulación de Turc, que proporciona el valor del coeficiente de escorrentía medio anual sobre datos de la precipitación media expresada en mm. (N) y la temperatura media anual en °C (T) de la cuenca aportadora²⁰.

El déficit hidrológico o déficit anual de escorrentía, en este caso, vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$D = \frac{N}{\sqrt{0'9 + \left(\frac{N}{L}\right)^2}}$$

donde: $L = 300 + 25 \cdot T + 0'05 \cdot T^3$.

²⁰ Vide J.M. FRANQUET. "Teoría, diseño y construcción de terrazas-voladizo". Ed.: Asociación de Ingenieros Agrónomos de Cataluña. Tortosa, 1995.

El coeficiente de escorrentía, entonces, vendrá dado por la expresión:

$$\epsilon = \frac{N - D}{N} = \frac{L_n}{N}. \text{ Entonces se cumplirá que:}$$

$$D^2 = \frac{N^2}{0'9 + \frac{N^2}{L^2}} = \frac{N^2 \cdot L^2}{0'9 \cdot L^2 + N^2}, \text{ de dónde:}$$

$$0'9 \cdot L^2 = \frac{N^2 \cdot L^2}{D^2} - N^2 = N^2 \left(\frac{L^2}{D^2} - 1 \right);$$

$$0'9 = \frac{N^2}{D^2} - \frac{N^2}{L^2}; \frac{N^2}{L^2} = \frac{N^2}{D^2} - 0'9; \frac{L^2}{N^2} = \frac{1}{\frac{N^2}{D^2} - 0'9}$$

Con lo que, en nuestro caso, se tendrá:

$$L = \sqrt{\frac{N^2}{\frac{N^2}{D^2} - 0'9}} = \sqrt{\frac{619^2}{\frac{619^2}{436'8^2} - 0'9}} = 588; \text{ o sea:}$$

$588 = 300 + 25 \cdot T + 0'05 \cdot T^3$; se obtiene pues la ecuación de tercer grado:

$0'05 \cdot T^3 + 25 \cdot T - 288 = 0$, que ofrece como solución una T media anual de la cuenca comprendida entre 9 y 10 °C.

Si ahora observamos el listado de temperaturas medias de diversas estaciones meteorológicas de la cuenca del Ebro (siguiente tabla), proporcionado por el Instituto Nacional de Meteorología, que no tiene en cuenta algunos puntos de alta montaña (especialmente del sistema pirenaico e ibérico), se concluye una temperatura media del conjunto oscilante alrededor de los 12 °C, lo que supondría:

Estación	Temperatura media (°C)
Tortosa	17'3
Huesca	13'6
Lleida	14'7
Logroño	13'5
Teruel	11'8
Santander	14'1
Soria	10'6
Zaragoza	15'0
Burgos	10'1
Pamplona	12'5
Vitoria	11'5

Tabla 13. Temperaturas medias anuales de diversos observatorios de la cuenca del Ebro.

$L = 300 + 25 \cdot 12 + 0'05 \cdot 12^3 = 686'4$, con lo que se tendrá un déficit hidrológico de:

$$D = \frac{619}{\sqrt{0'9 + \left(\frac{619}{686'4}\right)^2}} = 472'9 \text{ mm.},$$

y un coeficiente de escorrentía medio de:

$$\epsilon = \frac{N - D}{N} = \frac{619 - 472'9}{619} = 0'24.$$

Partiendo, por otra parte, de un valor medio supuesto de $T = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$, resulta interesante, para el cálculo de la evapotranspiración potencial media de la cuenca, la formulación de Coutagne, en que:

$$\lambda = \frac{1}{0'8 + 0'14 \cdot T} = \frac{1}{0'8 + 0'14 \cdot 12} = 0'4,$$

y siendo $P = 0'9 \cdot N = 0'9 \cdot 619 = 557'1 \text{ mm.} \approx 0'56 \text{ m.}$, que es la “precipitación neta” (precipitación total menos la infiltración en el terreno que puede evaluarse, con carácter general, en un 10% de N). Debe cumplirse que:

$$\frac{1}{8 \cdot \lambda} \leq P \leq \frac{1}{2 \cdot \lambda}, \text{ o sea : } \frac{1}{8 \cdot 0'4} \leq 0'56 \leq \frac{1}{2 \cdot 0'4},$$

o sea: $0'3125 \leq 0'56 \leq 1'25$, luego es aceptable.

Entonces, la evapotranspiración potencial media de la cuenca, en metros, viene dada por la expresión:

$$E = P - \lambda \cdot P^2 = 0'56 - 0'4 \cdot 0'56^2 = 0'435 \text{ m.}$$

La fórmula anteriormente aplicada tiene el interés de resultar independiente de las series cronológicas de caudales disponibles (que son, a veces, discrepantes en su temporalidad y/o cuantía). No obstante, se ha preferido contrastarla con las aplicables según la Resolución del Principado de Asturias, basadas en la legislación suiza. Partiendo de un $Q_{347} = 100,5 \text{ m}^3/\text{seg}$, que es el caudal superado durante 347 días del año hidráulico (correspondiente al percentil 5 de la correspondiente distribución de frecuencias), según se explica posteriormente, se definen tres zonas diferentes en función de las comunidades piscícolas existentes, útiles para la determinación del denominado “caudal de acondicionamiento” (véase anexo nº: 5), a saber:

A) *Zonas trucheras* (nivel de protección mínimo, base I). Será el mayor caudal de los resultantes de la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$\text{a) } Q_{\text{mín.}} = 0'35 \times Q_{347} = 0'35 \times 100'5 = 35'20 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

$$\text{b) } Q_{\text{mín.}} = \frac{15 \times Q_{347}}{(\ln Q_{347})^2} = \frac{15 \times 100'50}{\ln^2 100'50} = 70'90 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

$$\text{c) } Q_{\text{mín.}} = 0'25 \times Q_{347} + 75 = 100'10 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

Así pues, le corresponde un caudal mínimo de **100'10 m³/seg.**

B) *Zonas de interés piscícola* (nivel de protección medio, base II). Será el resultante de sumar al caudal mayor de los anteriormente obtenidos 2 l/seg. y km² de la cuenca aprovechada. Esto es:

$$Q_{\text{mín}} = 100,10 + (0,002 \times 85.534,2) = \mathbf{271,20 \text{ m}^3/\text{seg.}}$$

siempre considerando como aprovechable, a efectos piscícolas, la totalidad de la cuenca aguas arriba del tramo en estudio. Constituye un criterio acorde con el Informe de la Universidad de Berkeley para la Fundación de la Universidad Politécnica de Cartagena, de 7 de enero de 2003 (citado en la bibliografía), así como con el objetivo de categoría de calidad de las aguas superficiales C2 que ya hemos expuesto anteriormente (ICG = 75-85).

C) *Zonas salmoneras* (nivel de protección máximo, base III). Será el resultante de sumar al caudal mayor de los obtenidos en el apartado A) 4 l/seg. y km² de cuenca aprovechada. Esto es:

$$Q_{\min} = 100,10 + (0,004 \times 85.534,2) = \mathbf{442,20 \text{ m}^3/\text{seg.}}$$

El “caudal base” se aplica mediante simulación a una serie de secciones transversales definidas, bajo unas condiciones concretas, a su vez determinadas por el componente a conservar. De esta aplicación se deduce la necesidad o no de establecer un cierto caudal de acondicionamiento (adicional). El componente a conservar fija también las referencias en cuanto al nivel exigible de calidad del agua. El “caudal base” más el “caudal de acondicionamiento” definen el “caudal estándar”, sobre el que se aplica el factor de variabilidad estacional, obteniéndose el “caudal de mantenimiento”, que completa ya el régimen de mantenimiento a establecer.

El “caudal de acondicionamiento” se obtiene a partir de la simulación del caudal base sobre una serie de secciones transversales representativas del tramo afectable, cuestión que puede contemplarse en el anexo nº: 2.

Obsérvese la gran similitud existente entre el caudal mínimo medioambiental obtenido por aplicación de la fórmula de ISZKOWSKI (265,0 m³/seg.) y el que se deduce del apartado anterior B (271,20 m³/seg.) para las zonas de interés piscícola con un nivel de protección medio, **por lo que definitivamente adoptaremos el ya expresado de: 265,0 + 4,0 (concesión del CAT) + 2,0 (concesión de los riegos de Aldea-Camarles) = 271,0 m³/seg. a los efectos perseguidos de fijación del caudal mínimo medioambiental (promedio anual del mismo) en el subtramo inferior II del río Ebro, y que deberá distribuirse de acuerdo al hidrograma natural histórico de los caudales anuales. Aguas abajo de la toma del Consorcio de Aguas de Tarragona (CAT) y de los futuros riegos de Aldea-Camarles (subtramo inferior III), en Campredó (Tortosa), dicho caudal sería estrictamente de 265,0 m³/seg.**

El criterio de adopción ya expuesto del caudal mínimo medioambiental para el tramo inferior del río Ebro, viene reforzado si se analiza el conjunto de los valores obtenidos aplicando las diferentes opciones que, como se recordará, son las siguientes:

CRITERIO	Q _{mín.} (m ³ /seg.)
A) Base I	100'10
ISZKOWSKI (1)	150'10
ISZKOWSKI (2)	265'00
B) Base II	271'20
C) Base III	442'20
Media aritmética	245'72

Tabla 14. Caudales mínimos según los diferentes criterios empleados.

La mediana o segundo cuartil de esta distribución unitaria de frecuencias es de 265'00 m³/seg., que resulta ser el valor finalmente adoptado, teniendo en cuenta también su mayor proximidad a la media aritmética de los diversos criterios expuestos.

Obsérvese, en fin, que nuestra propuesta se ha aplicado a datos reales de series hidrológicas correspondientes al tramo inferior del río Ebro en la estación foronómica 027 de Tortosa, ubicada en el subtramo II del estudio. El resultado obtenido oscila entre el 52% y el 58% del caudal medio anual, con un promedio del 55%, según las diferentes series de aportaciones consideradas (ver anexo nº: 1).

3. INTERVALOS DE ADMISIBILIDAD DE LOS CAUDALES MÍNIMOS MEDIOAMBIENTALES

Por lo que se refiere al caudal mínimo medioambiental, veamos que la existencia de un gran número de procedimientos de cálculo, sin que ninguno de ellos haya sido adoptado unánimemente, indica la magnitud y complejidad del problema planteado y las diferentes actitudes o posiciones, a menudo contradictorias, que los especialistas en la materia sostienen sobre el tema.

A los efectos que siguen, es conveniente tener presente los siguientes conceptos:

- **Período de retorno** (n) en años: se define como correspondiente a aquel caudal mínimo medioambiental tal que la probabilidad de que en un año cualquiera determinado se produzca un caudal inferior es $\frac{1}{n}$. Así mismo, los caudales medioambientales

proponemos que se clasifiquen, según sus períodos de retorno, al objeto de establecer una distinción cualitativa entre ellos, del siguiente modo:

* Caudal mínimo ordinario:

Corresponde a períodos de retorno de 3 - **5** - 7 años.

* Caudal mínimo extraordinario:

Corresponde a períodos de retorno de 7 - **8** - 9 años.

* Caudal mínimo catastrófico:

Corresponde a períodos de retorno de 9 - **10** - 11 años.

Obsérvese que en la clasificación anterior hemos considerado períodos de retorno o recurrencia máximos de 11 años. Es curioso, al respecto, observar los anillos concéntricos de crecimiento anual de los troncos de los árboles centenarios: los más gruesos corresponden a los años más pluviosos y los especialistas en Dendrocronología pueden estudiar la climatología de una determinada región, incluso de épocas prehistóricas, ayudándose en su trabajo por los troncos encontrados en las ruinas de las ciudades ya desaparecidas. En los anillos parece encontrarse, efectivamente, una periodicidad en sus gruesos de crecida, que podrían coincidir también con los periodos de once años de la frecuencia de las manchas solares.

Fundamentado en esta teoría, un criterio muy utilizado es el de considerar periodos de 11 años para el estudio de los datos meteorológicos, aunque es preferible estudiar periodos múltiplos de 11, como 22, 33, 44 años, etc.²¹

Veamos, por último, lo que sucede para los diferentes períodos de retorno, de los que se derivan notorias distinciones cualitativas entre los caudales medioambientales. A saber:

²¹ Vide “Les limitacions del conreus per les temperatures extremes. Aplicació a les comarques meridionals de l'Ebre”, Josep Maria Franquet Bernis. Ed.: UNED. Tortosa, 2002.

INTERVALOS DE ADMISIBILIDAD DE LOS CAUDALES			
Período y caudal propuesto	Caudal mínimo ordinario (m ³ /seg.) (hm ³ /año)	Caudal mínimo extraordinario (m ³ /seg.) (hm ³ /año)	Caudal mínimo catastrófico (m ³ /seg.) (hm ³ /año)
Mes de agosto Q = 79 m ³ /seg.	[41, 95]	[24, 41]	[11, 24]
Estación seca Q = 107 m ³ /seg.	[69, 135]	[49, 69]	[33, 49]
Anual Q = 269 m ³ /seg. = 8.483 hm ³ /año	[251, 380] [7.916, 11.984]	[213, 251] [6.717, 7.916]	[183, 213] [5.771, 6.717]

Tabla 15. Intervalos de admisibilidad de los caudales.

Con las propias palabras de A. Palau (ver bibliografía) digamos que “teniendo *in mente* la tan extendida referencia del 10%, el rango de resultados obtenidos por aplicación de la presente propuesta puede parecer excesivamente conservacionista para unos y quizás aún demasiado limitado para otros. Si tal hecho se diese sería un síntoma de que la propuesta puede estar en el camino del equilibrio entre el uso y la conservación del recurso agua. En cualquier caso, sea ésta o no una buena propuesta, no es recomendable dejar aparcado el tema de la conservación de los ambientes fluviales, empezando por desmitificar la tan controvertida oposición entre el uso (supuestamente malo) y la conservación (supuestamente buena) de los recursos naturales (entre ellos el agua), continuando por el convencimiento de que nadie está libre de responsabilidad en el tema, ni siquiera los que creen estarlo, y que su solución, aparte de la necesaria inquietud y presión social, requiere *ecodinero*, es decir, dinero suficiente para suplir la repercusión económica de la demanda social de sistemas fluviales racionalmente gestionados”.

4. DETERMINACIÓN DE LA APORTACIÓN MEDIA EN RÉGIMEN NATURAL

Al respecto de la tabla 10 del anexo 1 de este mismo libro, que contempla el periodo 1912-2004, veamos que siendo la media histórica de las aportaciones efectivas o aforadas de agua en el tramo inferior del río Ebro de 14.269 hm³/año para dicho periodo, cabe distinguirlas de las aportaciones medias en régimen natural, que últimamente se vienen considerando con carácter oficial del orden de 17.000 – 17.500 hm³/año, y que no deberían ser rebajadas de no poseer suficientes estudios acreditativos de los efectos del cambio climático sobre dichas aportaciones naturales. Ello puede conducir a la consideración de la conocida fórmula de Becerril, que proporciona directamente la aportación anual, que se suele aplicar en anteproyectos de grandes cuencas y cuya

mayor dificultad estriba en la apreciación del tipo de pluviometría ya que, en ocasiones, no resulta fácil encajar la cuenca hidrográfica en estudio, de una manera clara, en una de las cinco categorías del coeficiente de escorrentía medio β que se relacionan a continuación:

Tipos de zona	β
Regiones muy secas (tipo La Mancha)	0'0060 - 0'0089
Regiones secas (tipo Páramos)	0'0090 - 0'0119
Regiones medianamente húmedas (tipo Guadarrama)...	0'0120 - 0'0139
Regiones lluviosas (tipo Cantábrico)	0'0140 - 0'0169
Regiones muy lluviosas (tipo Pirenaico)	0'0170 - 0'0200

En definitiva, la fórmula de Becerril ofrece la siguiente configuración analítica:

$$A_n = \beta \cdot N^{1'5} \cdot F, \text{ en la que:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_n = \text{Aportación media anual de la cuenca (en Dm}^3\text{)}. \\ \beta = \text{Coeficiente de escorrentía anteriormente tabulado.} \\ N = \text{Precipitación media de la cuenca (en mm. = litros/m}^2\text{)}. \\ F = \text{Superficie de la cuenca aportadora (en km}^2\text{)}. \end{array} \right.$$

Considerando prudentemente, ahora, en nuestro caso, un $\beta = 0'012$, se tendría una aportación media en régimen natural de:

$$A_n = 0'012 \times 656^{1'5} \times 85.534'2 \equiv \mathbf{17.245'54 \text{ hm}^3/\text{año}},$$

que coincide casi exactamente (17.265 hm³/año) con el que hemos considerado en nuestro anterior libro “Cinco temas de hidrología e hidráulica” (véase epígrafe 3.2. del capítulo V, pág. 354 y ss.) a los efectos de la cuantificación de nuestra dicotomía posicional con la de los estudios previos del PHN-2001.

CAPÍTULO 8

GESTIÓN DE CAUDALES (VISUALIZACIÓN)

Teniendo en cuenta, en fin, los caudales aforados en Tortosa (estación foronómica nº: 27) en el periodo 1966-85 (véase anexo nº: 3), la distribución bianual de los caudales debería ser la siguiente:

Mes	Qmax	Qmin	Qmed
septiembre	255	94	175
octubre	500	186	343
noviembre	705	263	484
diciembre	868	323	595
enero	983	366	674
febrero	1.047	390	718
marzo	1.057	393	725
abril	1.008	375	692
mayo	898	334	616
junio	721	268	495
julio	476	177	326
agosto	157	59	108
agos-sep	206	77	141
septiembre	255	94	175
octubre	500	186	343
noviembre	705	263	484
diciembre	868	323	595
enero	983	366	674
febrero	1.047	390	718
marzo	1.057	393	725
abril	1.008	375	692
mayo	898	334	616
junio	721	268	495
julio	476	177	326
agosto	157	59	108

Tabla 16. Caudales mensuales en gestión bianual (1966-85).

No obstante, la transformación de la tabla anterior para la serie de más de 60 años hidráulicos, a la cual nos venimos refiriendo, exigirá la aplicación del coeficiente multiplicador que resulta ser el cociente de las dos medias aritméticas de las mencionadas series cronológicas, para todos los meses:

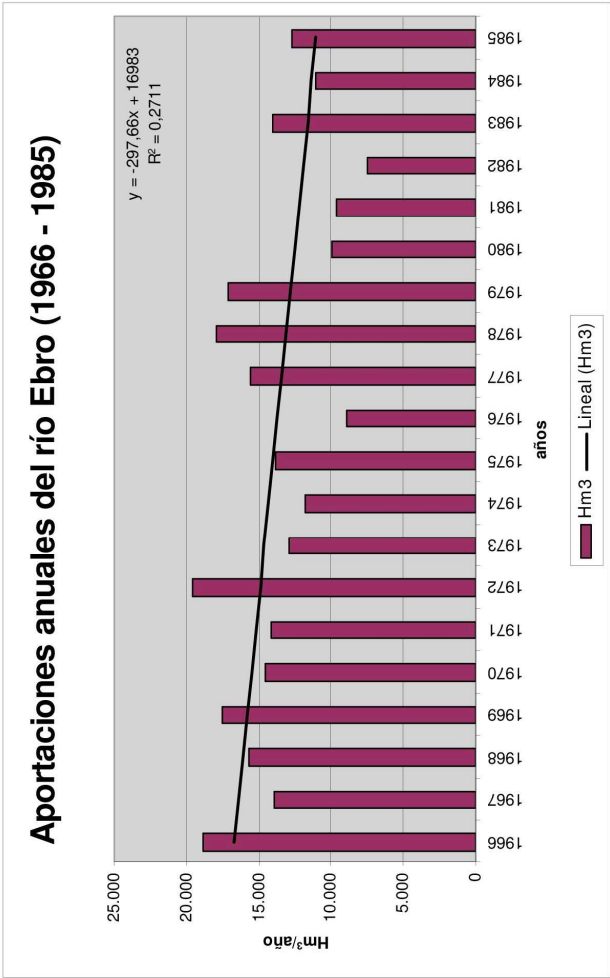
$$496/436'36 = 1'1367.$$

Alternativamente, de haberse considerado la última serie cronológica que se dispone (período 1912-13 al 2003-04, véase anexo 1, apartado 10), el expresado coeficiente corrector tendrá un valor de:

$496/452{,}5 = 1{,}0961.$

Aportaciones Anuales
Para el período estudiado 1966 - 1985 las aportaciones anuales fueron:

Año	Hm ³
1966	18.880
1967	13.891
1968	15.630
1969	17.517
1970	14.519
1971	14.150
1972	19.611
1973	12.901
1974	11.791
1975	13.789
1976	8.889
1977	15.544
1978	17.965
1979	17.067
1980	9.987
1981	9.672
1982	7.498
1983	14.084
1984	11.084
1985	12.679
Promedio	13.857,4
Sumatoria	277.148

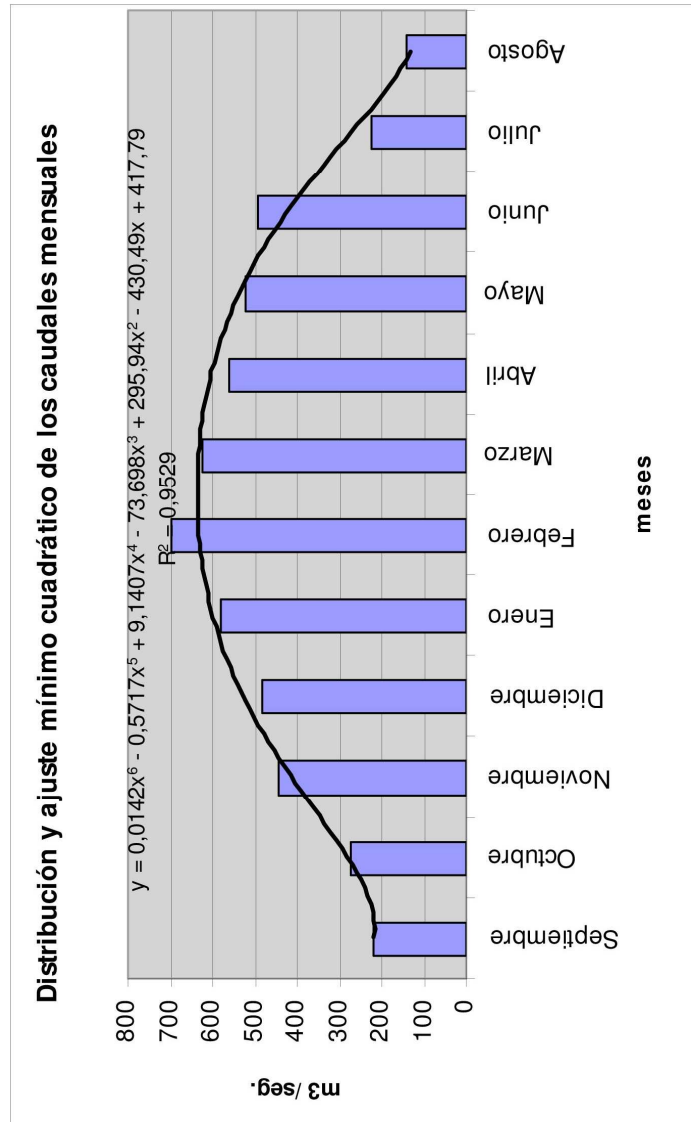


20 años naturales

Caudales Mensuales

Los caudales mensuales registrados en la estación foronómica núm. 027 de Tortosa para el período 1966 - 1985 presentan un mínimo durante el mes de agosto de 143,05 m³/seg. El máximo se produce en febrero con 698,52 m³/seg.

La distribución de estos caudales es la siguiente :



Caudales Diarios Clasificados

La clasificación de caudales diarios se realiza con el fin de obtener una idea más precisa del promedio de tiempo durante el cual se asegura un caudal mínimo determinado.

Para ello se utilizan los caudales diarios registrados en la estación foronómica nº 27 desde 1966 a 1985 que, posteriormente, son ordenados en orden creciente y agrupados en "clases" o "grupos" en los que el número total de los caudales disponibles representa un cierto porcentaje del total de los caudales disponibles (7.300). Cuanto menor sea el porcentaje de cada "clase" con relación al total, tanto mayor será la precisión de la clasificación. No se han considerado coeficientes correctores puesto que la serie (20 años) y la implantación de la estación foronómica no lo necesitan.

En general se adoptan "clases" que representan alrededor de un 2,0% del total, lo que nos permite obtener resultados absolutamente fiables. Posteriormente, se representa el correspondiente polígono de frecuencias o diagrama acumulativo ascendente y descendente de los caudales del río.

Estos cálculos se realizan con la ayuda de un sistema informático adecuado, del que se consigue la siguiente clasificación:

Años: 1966-1985

Item	Q (m³/seg.)	Nº	% frecuencia simple fi	% frecuencia acumulada ascendente FI ?	% frecuencia acumulada descendente FI ?
1	72.10	145	1.99	1.99	98.01
2	85.06	146	2.00	3.99	96.01
3	91.75	146	2.00	5.99	94.01
4	99.81	146	2.00	7.99	92.01
5	108.54	146	2.00	9.99	90.01
6	115.61	146	2.00	11.99	88.01
7	124.35	146	2.00	13.99	86.01
8	134.51	146	2.00	15.99	84.01
9	142.68	146	2.00	17.99	82.01
10	153.38	146	2.00	19.99	80.01
11	163.14	146	2.00	21.99	78.01
12	173.69	146	2.00	23.99	76.01
13	183.50	146	2.00	25.99	74.01
14	193.67	146	2.00	27.99	72.01
15	204.19	146	2.00	29.99	70.01
16	211.37	146	2.00	31.99	68.01
17	219.27	146	2.00	33.99	66.01
18	228.96	146	2.00	35.99	64.01
19	241.91	146	2.00	37.99	62.01
20	254.78	146	2.00	39.99	60.01
21	267.25	146	2.00	41.99	58.01
22	278.98	146	2.00	43.99	56.01
23	288.68	146	2.00	45.99	54.01
24	301.64	146	2.00	47.99	52.01
25	314.44	146	2.00	49.99	50.01
26	326.02	146	2.00	51.99	48.01
27	339.94	146	2.00	53.99	46.01
28	355.16	146	2.00	55.99	44.01
29	371.71	146	2.00	57.99	42.01
30	390.08	146	2.00	59.99	40.01
31	408.03	146	2.00	61.99	38.01
32	429.12	146	2.00	63.99	36.01
33	448.34	146	2.00	65.99	34.01
34	471.62	146	2.00	67.99	32.01
35	494.83	146	2.00	69.99	30.01
36	521.53	146	2.00	71.99	28.01
37	548.85	146	2.00	73.99	26.01
38	576.16	146	2.00	75.99	24.01
39	604.42	146	2.00	77.99	22.01
40	632.34	146	2.00	79.99	20.01
41	665.34	146	2.00	81.99	18.01
42	700.72	146	2.00	83.99	16.01
43	742.71	146	2.00	85.99	14.01
44	797.89	146	2.00	87.99	12.01
45	857.05	146	2.00	89.99	10.01
46	916.72	146	2.00	91.99	8.01
47	999.61	146	2.00	93.99	6.01
48	1.145.56	146	2.00	95.99	4.01
49	1.398.33	146	2.00	97.99	2.01
50	2.022.46	146	2.00	99.99	0.01

(Hay un 5% de probabilidad de obtener un caudal $< 88.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$, o bien un 95% de que sea $\geq 88.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$)

Media aritmética = $436.36 \text{ m}^3/\text{seg.}$

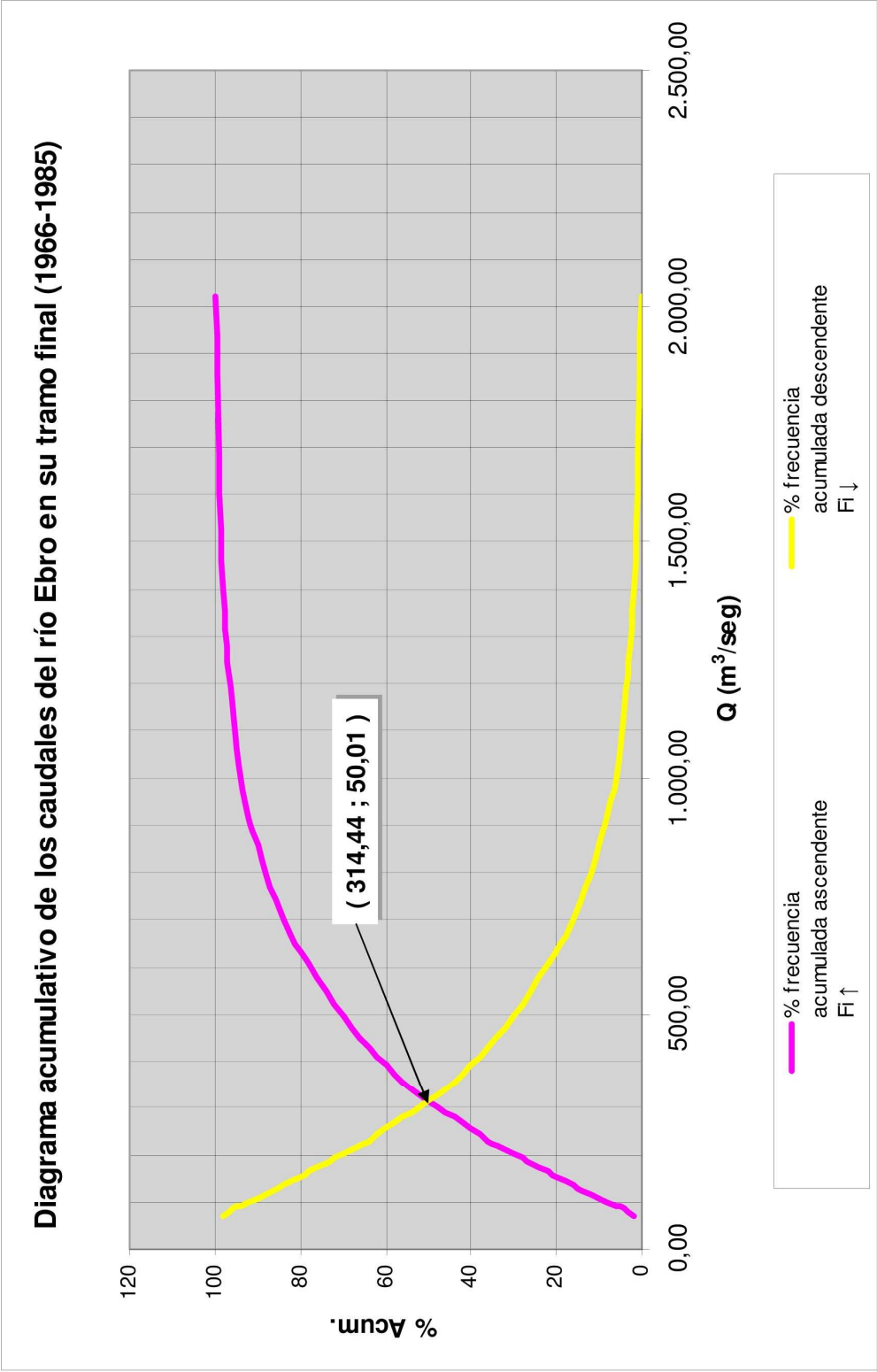
$N = 20 \text{ años} \times 365/25 \text{ días/año} = 7.305 \text{ estimaciones}$

(Hay un 50% de probabilidad de obtener un caudal $< 315 \text{ m}^3/\text{seg.}$)

\bar{X} (Asimetría o sesgo)
(Hay un 65% de probabilidad de obtener un caudal $< \bar{X} = 436.36 \text{ m}^3/\text{seg.}$, o bien un 35 % de $\geq \bar{X} = 436.36 \text{ m}^3/\text{seg.}$)

(Hay un 91% de probabilidad de obtener un caudal $< 887 \text{ m}^3/\text{seg.}$)

(Hay un 95% de probabilidad de obtener un caudal $< 1.073 \text{ m}^3/\text{seg.}$)



El punto de intersección de los diagramas acumulativos de las frecuencias ascendente y descendente determina el valor de la mediana teórica de la serie cronológica de datos estudiada (1966-85). Como consecuencia de la tabla anterior, resulta posible calcular el caudal Q_{347} . En efecto:

$$347 \text{ días al año} \Rightarrow (347/365'25) \times 100 = 95\% \text{ del tiempo anual.}$$

Con ello, resulta un valor: $Q_{347} = 88,4 \text{ m}^3/\text{seg.}$, para la serie histórica o cronológica de 1966 - 1985, que tiene una media aritmética, como ya se ha visto, de $436,36 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Correspondería al percentil P_5 de la correspondiente distribución de frecuencias.

Para la serie histórica que estamos manejando de 60 años hidráulicos, con media aritmética de $496 \text{ m}^3/\text{seg.}$, se tendría un Q_{347} supuesto o corregido de:

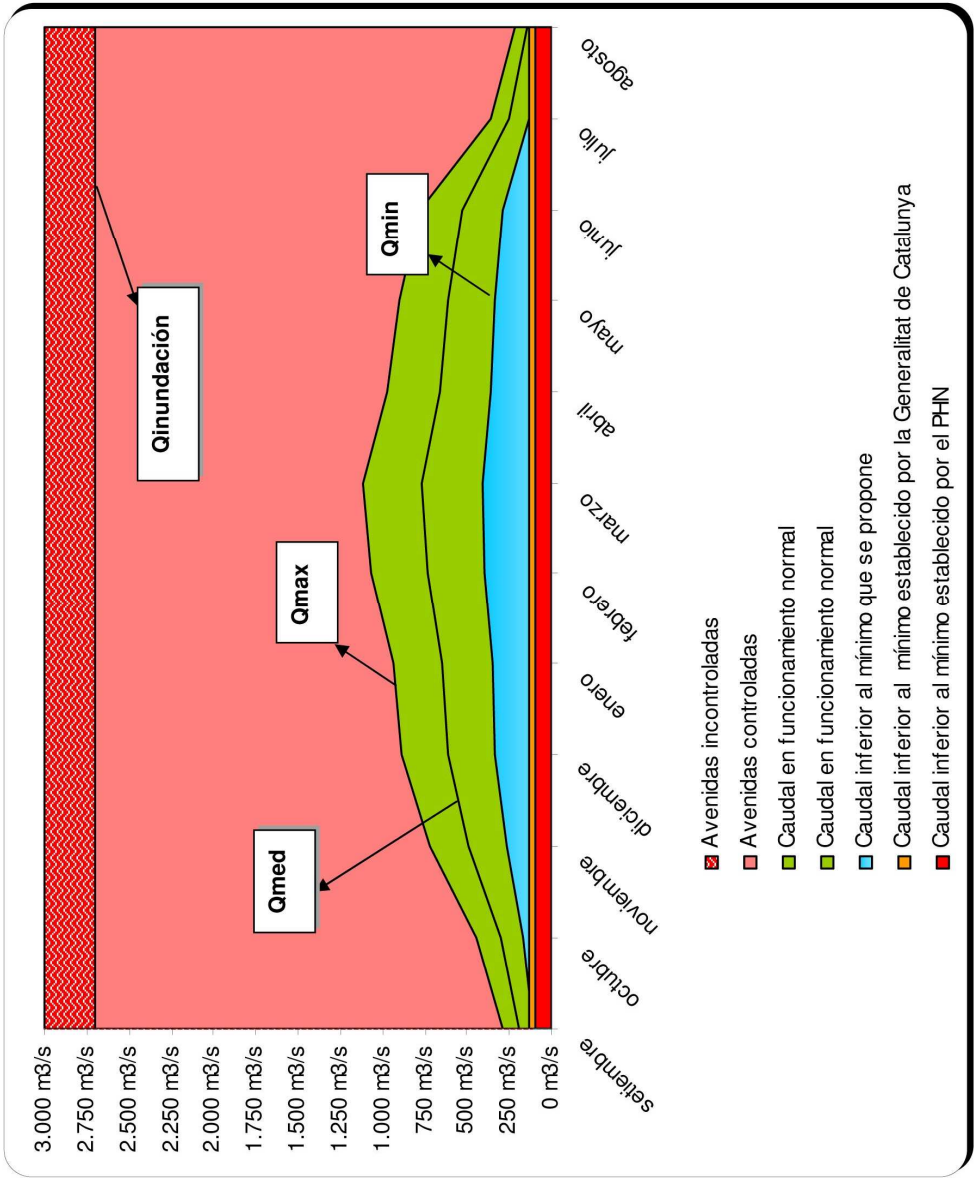
$$Q_{347} = 88,4 \times (496/436,36) = 100,5 \text{ m}^3/\text{seg.},$$

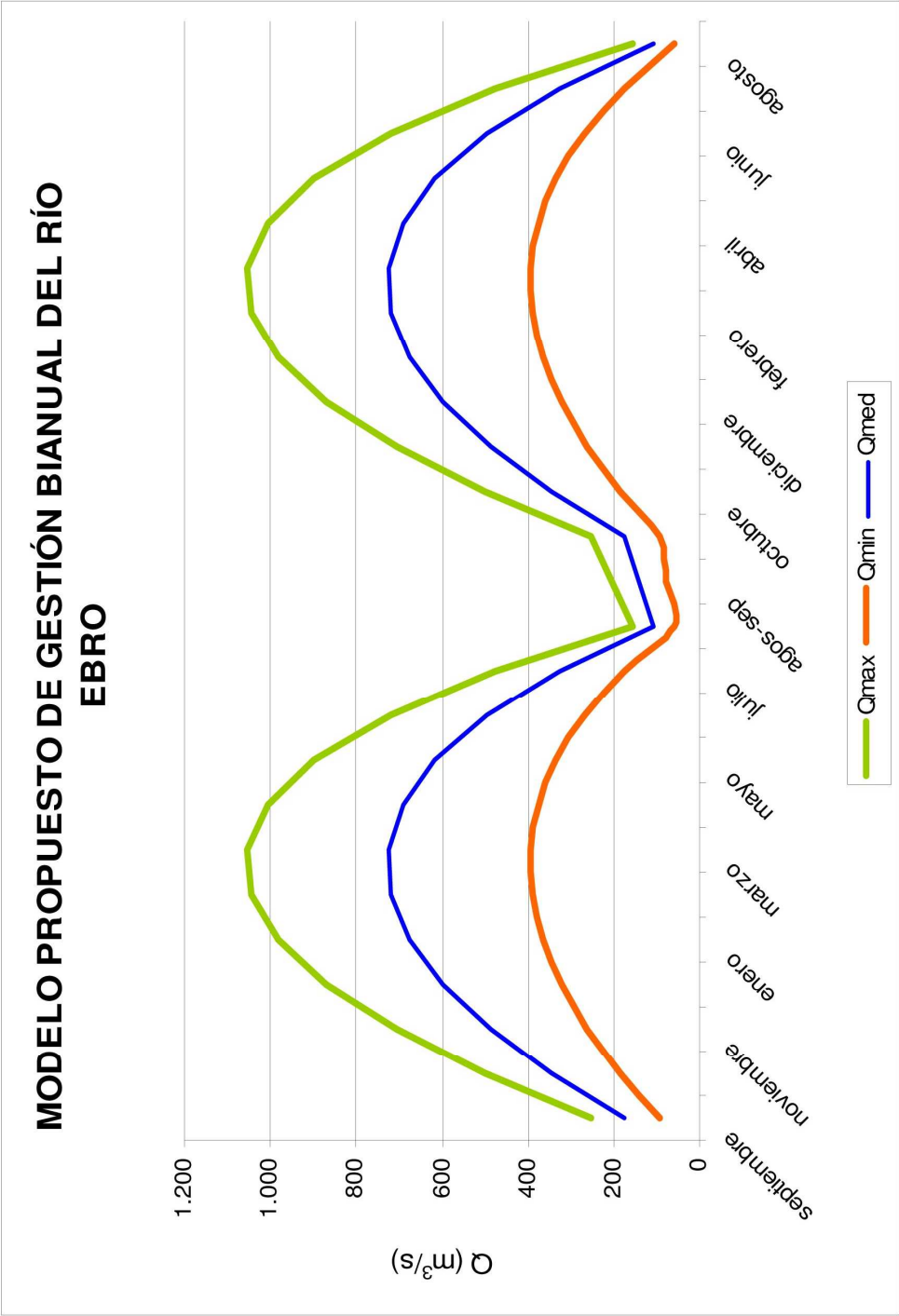
mientras que para la serie histórica de 75 años hidráulicos (1912-13 al 2003-04), con media aritmética de $452,5 \text{ m}^3/\text{seg.}$, se tendría un Q_{347} supuesto o corregido de:

$$Q_{347} = 88,4 \times (452,5/436,36) = 91,7 \text{ m}^3/\text{seg.},$$

TABLA DE GESTIÓN DE CAUDALES EN EL TRAMO INFERIOR DEL RÍO EBRO (m^3 / s)

Item	Mes (1)	Y_i (2)	Y_i/\bar{Y} (3)	$(Y_i/y) \cdot Q_{min}$ (4)	Q_{max} (5)	Q_{min} PHN (6)	Q_{min} Gen (7)	Q_{inun} (8)
1	septiembre	198	0,399	107	289	100	135	2.700
2	octubre	302	0,609	164	440	100	135	2.700
3	noviembre	494	0,996	268	720	100	135	2.700
4	diciembre	610	1,230	331	889	100	135	2.700
5	enero	643	1,296	349	937	100	135	2.700
6	febrero	730	1,472	396	1.064	100	135	2.700
7	marzo	764	1,540	414	1.114	100	135	2.700
8	abril	665	1,341	361	969	100	135	2.700
9	mayo	618	1,246	335	901	100	135	2.700
10	junio	533	1,075	289	777	100	135	2.700
11	julio	249	0,502	135	363	100	135	2.700
12	agosto	145	0,292	79	211	100	135	2.700
6,5	Medias	496	1,000	269	723	100	135	2.700





Por último veamos la tabla resultante de los caudales mínimos medioambientales mensuales calculados del tramo inferior del río Ebro, considerado como tal el comprendido entre la presa de Flix y la desembocadura en el mar Mediterráneo. Dicho tramo, a su vez, se divide en los tres subtramos siguientes:

- Subtramo I: presa de Flix – assut de Xerta/Tivenys.
- Subtramo II: assut de Xerta/Tivenys – Campredó.
- Subtramo III: Campredó – desembocadura (subtramo deltaico).

El subtramo II es el resultante del cálculo efectuado añadiendo los 4 m³/seg. de la concesión del denominado minitransvase del CAT y 2 m³/seg. de previsión máxima puntual, en el mes de máximo consumo, para los riegos de Aldea-Camarles (que tienen una antigua concesión administrativa de 1'4 m³/seg.), con la corrección correspondiente al mínimo del mes de Agosto que se explica en la nota de la tabla. Este mínimo debería ser de 100 m³/seg. en cualquier caso, como reconoce el Plan Hidrológico de Cuenca actualmente vigente.

El subtramo I resulta de agregar al subtramo II los 8 m³/seg. previstos para el canal Xerta-Sénia, 19 m³/seg. del canal de la izquierda del Ebro y 26 m³/seg. del canal de la derecha del Ebro.

El subtramo III resulta de restar al subtramo II los 4 m³/seg. de la concesión del CAT y los 2 m³/seg. del caudal punta de los riegos de Aldea-Camarles, también con la corrección correspondiente al mínimo del mes de agosto que se explica en la nota inferior de la tabla.

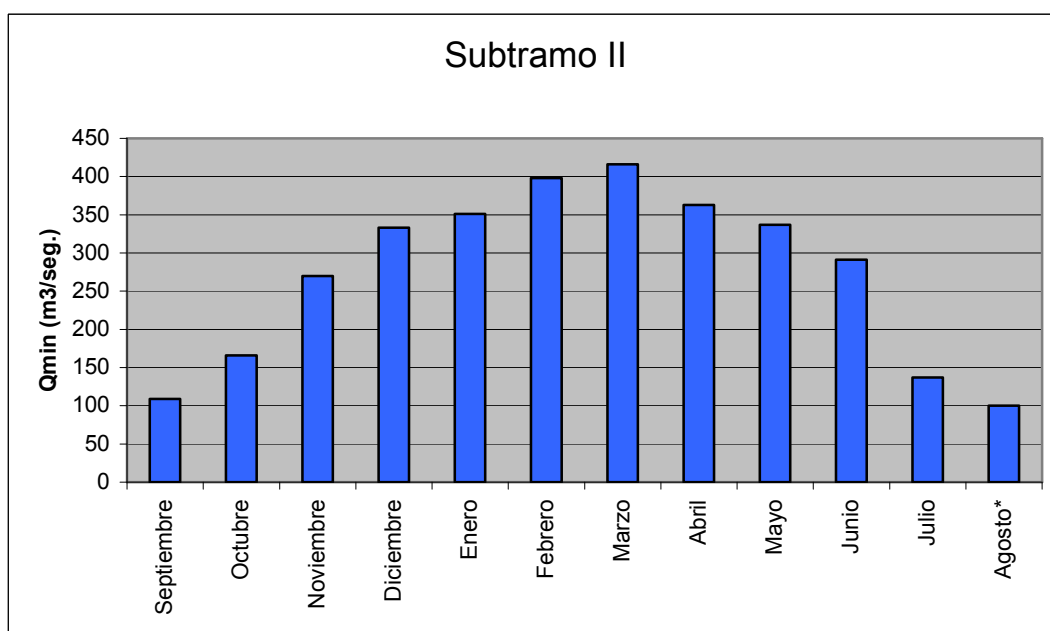
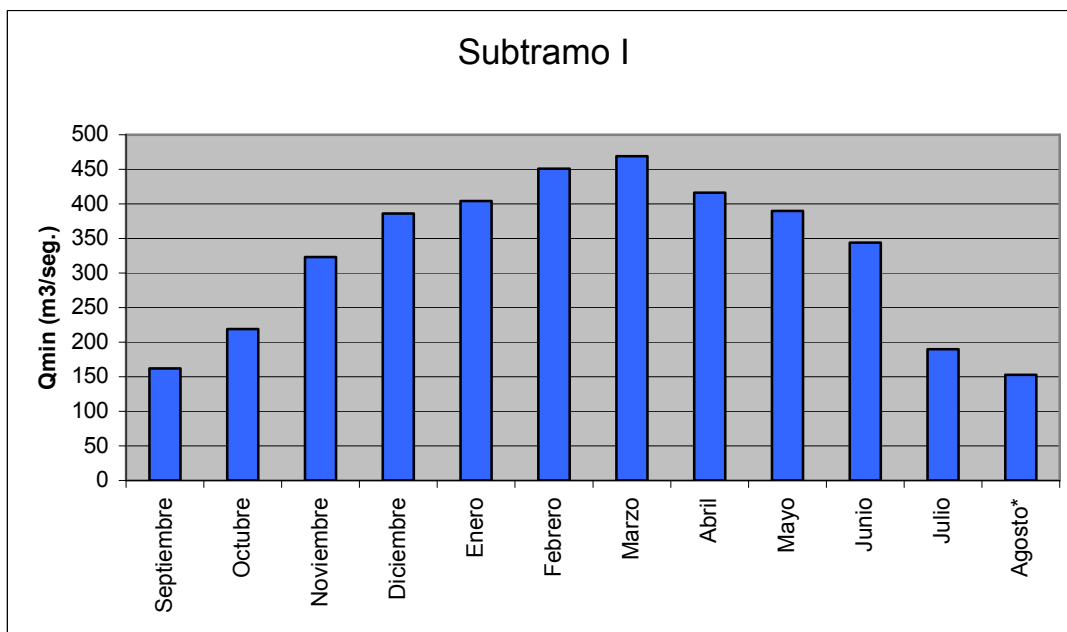
En cualquier caso, las cifras anteriores pueden ser ligeramente modificadas en base a la temporalización prevista de los consumos de agua según las épocas del año (las dotaciones de agua para riego en primavera y en verano son superiores a las de otoño e invierno, así como también el consumo de agua para usos domésticos y de pequeñas industrias conectadas a la red general). Obsérvese, así mismo, que de la evolución y cuantía de los caudales contemplados, y su distribución temporal, se deduce que el año hidráulico en el tramo inferior del río Ebro que es objeto de nuestro estudio se desarrolla desde los meses de septiembre a agosto, contrariamente a la concepción tradicional que lo establecía entre octubre y septiembre.

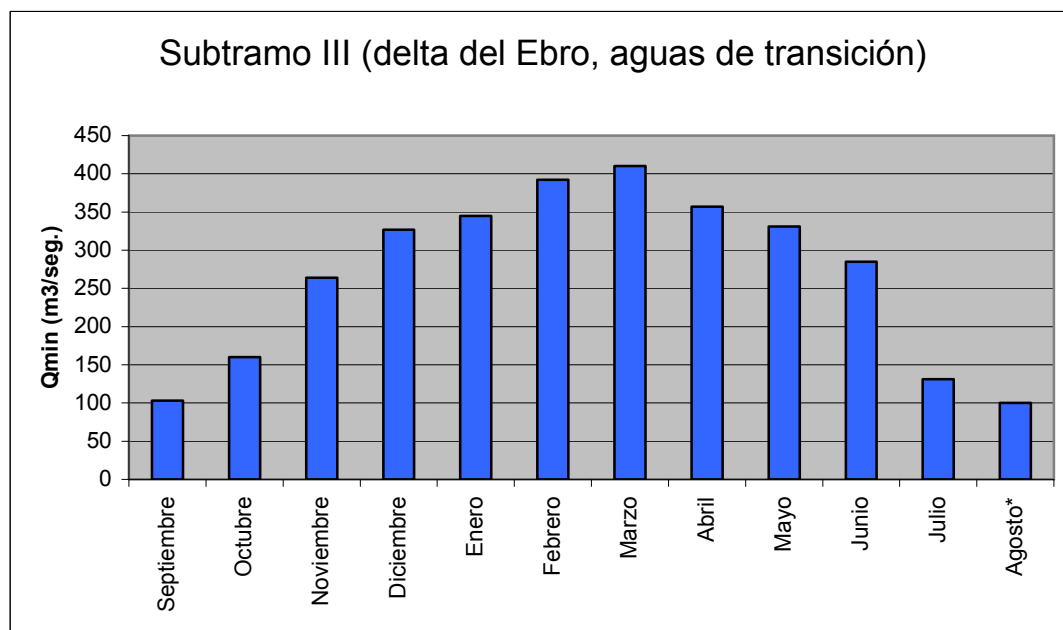
TABLA DE CAUDALES MÍNIMOS MENSUALES POR SUBTRAMOS (m³/seg.)

Ítem	Mes	Subtramo III	Subtramo II	Subtramo I	Media
1	Septiembre	103	109	162	124,67
2	Octubre	160	166	219	181,67
3	Noviembre	264	270	323	285,67
4	Diciembre	327	333	386	348,67
5	Enero	345	351	404	366,67
6	Febrero	392	398	451	413,67
7	Marzo	410	416	469	431,67
8	Abril	357	363	416	378,67
9	Mayo	331	337	390	352,67
10	Junio	285	291	344	306,67
11	Julio	131	137	190	152,67
12	Agosto*	100	100	153	117,67
	Media (m³/s.)	267,08	272,58	325,58	288,42
	Media (hm³/año)	8.423	8.596	10.268	9.096

*NOTA: En el mes de Agosto corresponde un caudal mínimo de 75 m³/seg. para el subtramo III y 81 m³/seg. para el subtramo II que, en cualquier caso, se han elevado al mínimo de 100 m³/seg.

Los gráficos de los caudales mensuales mínimos para los diferentes subtramos en que hemos dividido el tramo inferior del río Ebro, desde la presa de Flix hasta la desembocadura, serán los siguientes:





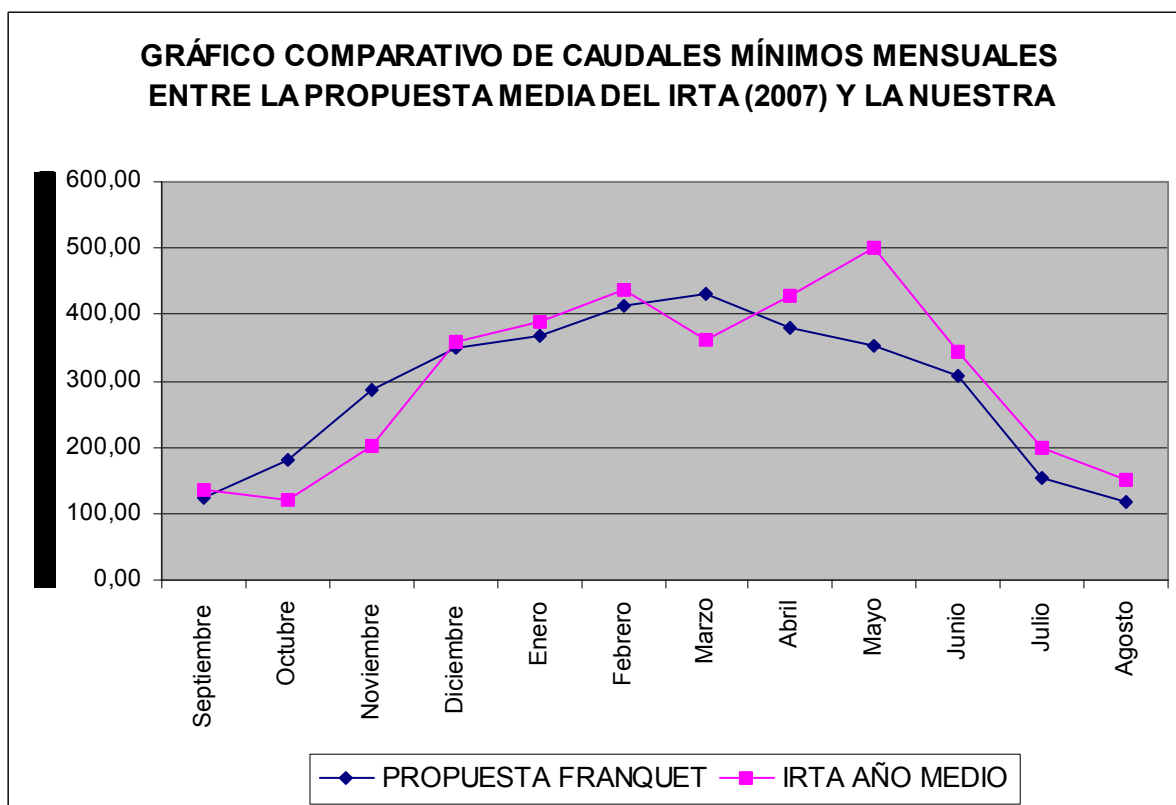
También se adjunta una tabla comparativa entre los caudales mínimos medioambientales mensuales propuestos por el IRTA (2007) y los que resultan de nuestras determinaciones, que se acompaña del gráfico donde se aprecian las diferencias existentes entre ambos estudios que, en cualquier caso, concluyen en unas aportaciones anuales medias parecidas. Aquellos trabajos fueron realizados para la Comisión de Sostenibilidad de las Tierras del Ebro (CSTE) por encargo de la Agencia Catalana del Agua (ACA) y del Consorcio para la Protección Integral del Delta del Ebro (PIPDE), realizándose una estimación del caudal mínimo necesario en el delta del Ebro a partir de la aplicación del método RVA_{NGRPG} (*Range of Variability Approach*, con el criterio de rango de percentil 10 del *Northern Great Resource Plains Program*).

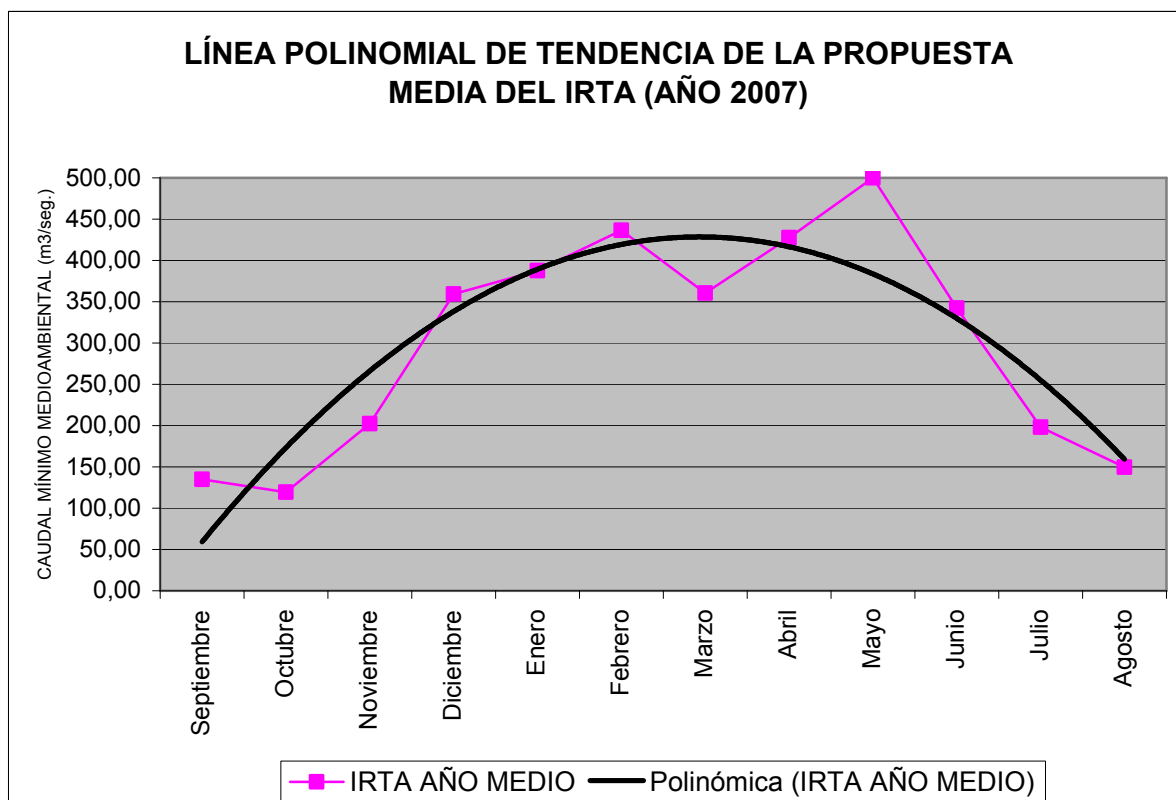
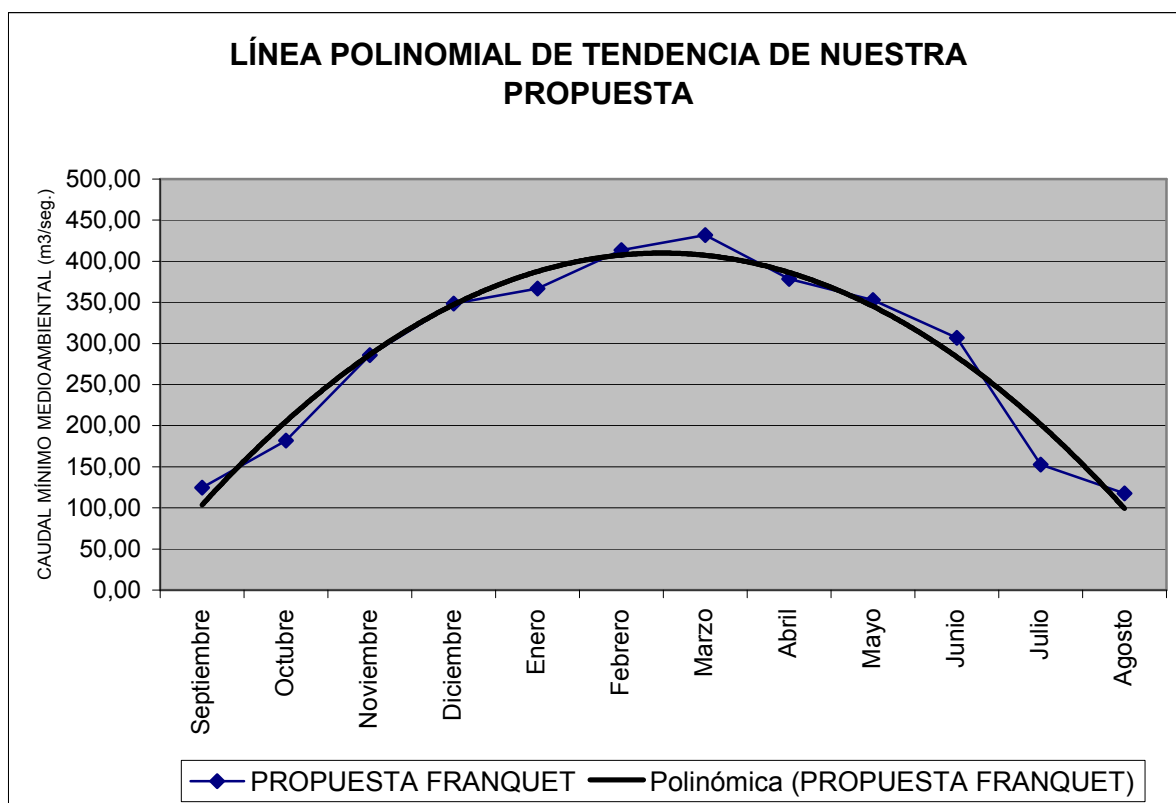
La mencionada propuesta del IRTA tiene en cuenta que el año sea seco, medio o húmedo, suponiendo para cada uno de ellos una reserva respectiva de aportaciones anuales de 7.305, 9.691 y 12.783 hm³. Dicha propuesta resultó aprobada por la totalidad de los miembros de la CSTE el día 3 de marzo de 2007, siendo recogida también por la Plataforma en Defensa del Ebro (PDE), peticionaria del presente Informe, que inició una serie de acciones informativas y reivindicativas para promover su desarrollo, entre las que cabe destacar el apoyo logrado por parte de diversos municipios de las Tierras del Ebro, a saber: Benissanet, Camarles, Deltebre, Flix, Alcanar, Sant Carles de la Ràpita, Mora la Nova, La Sénia, l'Aldea, Santa Bàrbara, Tortosa y los Consejos Comarcales del Baix Ebre y del Montsià.

Veámoslo a continuación:

ÍTEM	MES	IRTA AÑO SECO	IRTA AÑO MEDIO	IRTA AÑO HÚMEDO	PROPUESTA FRANQUET
1	Septiembre	102,70	135,00	210,30	124,67
2	Octubre	87,20	119,30	207,40	181,67
3	Noviembre	135,50	202,40	317,20	285,67
4	Diciembre	247,60	359,40	448,70	348,67
5	Enero	284,60	387,60	467,70	366,67
6	Febrero	326,90	436,50	511,40	413,67
7	Marzo	275,60	360,40	525,60	431,67
8	Abril	336,40	427,60	568,60	378,67
9	Mayo	395,60	500,00	622,70	352,67
10	Junio	251,80	342,30	453,00	306,67
11	Julio	167,40	198,00	253,70	152,67
12	Agosto	116,20	149,80	186,60	117,67
	Media (m³/s.)	227,00	301,00	397,00	288,42
	Media (hm³/año)	7.149	9.482	12.517	9.096

Tabla 17. Comparativa IRTA-Franquet (m³/seg.).





CAPÍTULO 9

DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES Y CAUDALES MEDIOAMBIENTALES EN DIFERENTES SECCIONES

1. INTRODUCCIÓN

En el trabajo titulado “Determinación de los perfiles de velocidades del Bajo Ebro entre Tortosa y Amposta”, citado en la bibliografía, llevado a cabo por el Departamento de Hidráulica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, mayo de 1985) se realizó un interesante estudio acerca del comportamiento de nueve secciones transversales o perfiles del tramo final del río Ebro comprendidos entre las capitales de las comarcas del *Baix Ebre* y del *Montsià*, respectivamente Tortosa y Amposta, en relación a la estabilidad del dragado del cauce como consecuencia de la ejecución material del proyecto de navegabilidad de aquel sector fluvial. Su emplazamiento se corresponde con parte de los subtramos II y III de nuestro trabajo.

En el Anexo nº: 2 de nuestro Informe se reproducen, para cada uno de los perfiles analizados, dos secciones transversales del cauce, siendo el superior el obtenido en un estudio del año 1983 y el inferior el año 1985. Sobre el primero de ellos se representan los caudales mínimos medioambientales que se deducen de nuestro estudio ($Q = 269\text{-}265 \text{ m}^3/\text{seg.}$) contrastándose con los previstos en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro ($Q = 100 \text{ m}^3/\text{seg.}$) y su efecto sobre dichas secciones. Sobre el segundo se representan las velocidades en cada vertical de medida, mediante segmentos de recta proporcionales a las velocidades, con un factor de proporcionalidad: $1 \text{ cm.} = 0'30 \text{ m/seg.}$ en la escala original. Estos segmentos se dibujan abatidos sobre el plano del papel. Uniendo los extremos de los segmentos se traza para cada vertical el correspondiente perfil de las velocidades del agua a diferentes profundidades. La vista de esos perfiles es siempre desde aguas abajo, de tal modo que la margen derecha del río queda siempre a la izquierda del papel y recíprocamente.

Integrando gráficamente los perfiles de velocidades hallados se puede obtener, con cierta exactitud, el valor del caudal circulante. Con este procedimiento se ajusta satisfactoriamente el caudal cuando el número de puntos de medida de la velocidad es elevado y cuando el perfil del fondo del cauce no es muy irregular. Estos resultados muestran que el régimen del río Ebro en el tramo estudiado Tortosa-Amposta, al

menos durante los días que se efectuó la correspondiente campaña hidrométrica, se puede considerar similar al valor medio del módulo anual registrado en la estación foronómica EA-027 de Tortosa.

En cuanto a la variación horaria que se observa en la tabla anterior, se debe sin duda a la explotación hidroeléctrica del embalse de Ribarroja, situado a unos 80 km. aguas arriba de Tortosa. Esta variación horaria repercutía en una oscilación de niveles notable en el tramo de estudio (concretamente, en el embarcadero de Amposta, entre las 9 y las 18 h., se alcanzaron casi 50 cm., mientras que en Flix se registraron caudales máximos y mínimos de 872 y 175 m³/seg.). También fueron de notar las altas velocidades del agua observadas en algunas secciones, especialmente las 7, 8 y 16, próximas a Tortosa, donde se llega incluso a alcanzar en superficie un valor de 1'67 m./seg.

La especificación geográfica o situación de los perfiles mencionados puede verse en la siguiente figura:

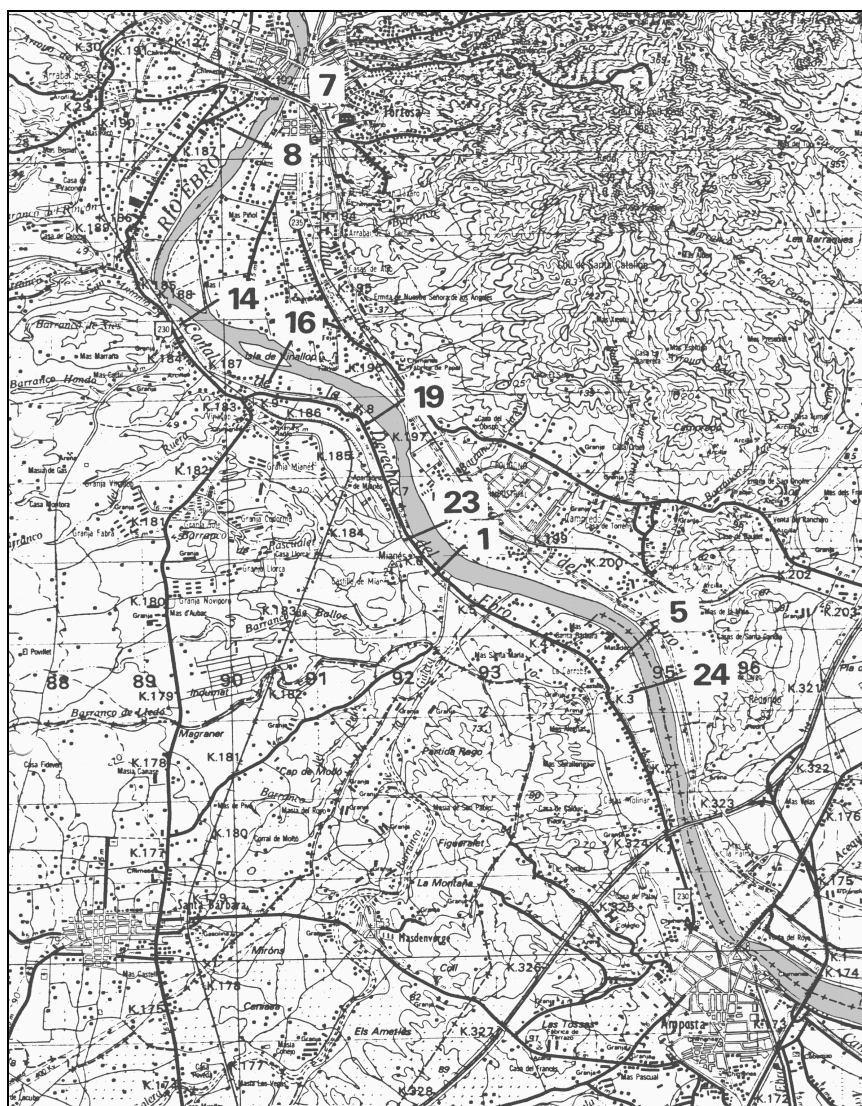


Fig. 4. Emplazamiento de los 9 perfiles transversales analizados.

Las medidas de velocidades se realizaron con un molinete marca A.OTT modelo C 31 suspendido de torno, desde la borda de una barca tipo ZODIAC. EL molinete se estabilizaba con una aleta doble horizontal y vertical colocada en la prolongación del cuerpo del molinete y con un lastre de 15 Kg. suspendido de su eje. Con ambos dispositivos, se comprobó que la orientación, tanto vertical como horizontal de la hélice, se mantenía correctamente. La distancia entre el eje del molinete y el punto inferior del lastre era de unos 20 cm., lo que determinó la mínima distancia del fondo del río a la que se pudo medir la velocidad.

El molinete así dispuesto se contrastó con otro portátil dispuesto sobre una barra, marca A.OTT, modelo C 20, perfectamente calibrado, dando un ajuste satisfactorio. Por lo que se refiere a la profundidad de estacionamiento del molinete fue previamente graduado para dar directamente la lectura en centímetros de la distancia entre la superficie del agua y el eje del molinete.

Una vez identificada la sección de estudio y tomado el perfil transversal del fondo mediante ecosonda, se escogían un número determinado de verticales, entre tres y cinco, donde se anclaba la barca. La elección se hacía atendiendo a las particularidades del perfil del fondo y a una mínima regularidad en el espaciamiento. En cada posición se determinaba, mediante un distanciómetro (estadímetro), la distancia de la vertical elegida con respecto a los márgenes del río y el calado mediante la ecosonda. En cada vertical se tomaba la velocidad en un número variable de puntos según el calado, oscilante de 3 a 7 puntos, el primero en su superficie y el resto regularmente repartidos pero de manera que en las proximidades del fondo se tomaran más lecturas.

Se emplearon para efectuar el trabajo los siguientes elementos: un contador mecánico y un cronómetro, y en las últimas secciones un contador eléctrico de impulsos. Cada medida de la velocidad consistía en obtener el tiempo necesario para registrarse 200 revoluciones de la hélice en el contador, salvo en algunos lugares con escasas velocidades, donde se redujo esta cifra. En cada punto de medida se hacía una lectura, salvo cuando se observaba alguna anomalía en la regularidad esperada de la distribución de velocidades en una vertical. En numerosas secciones, no obstante, se tomaron 2 lecturas por punto de medida²².

A partir de los tiempos registrados se calcularon las velocidades con la ecuación de tarado en la hélice (ver tabla correspondiente del Anexo nº: 2), del siguiente modo:

²² Vide AA. VV. *Determinación de los perfiles de velocidades del Bajo Ebro entre Tortosa y Amposta*. Ed.: Universidad Politécnica de Catalunya. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Hidráulica. Barcelona, mayo de 1985.

$$\begin{cases} V = 0'2590 n + 0'005 & \text{si } n > 1'51 \\ V = 0'2517 n + 0'016 & \text{si } n < 1'51 \end{cases}$$

donde: V = velocidad (m/seg.) y n = nº de revoluciones/seg.

En un río cualquiera, como es el caso del Ebro, para determinar el caudal que pasa por una sección transversal determinada, se requiere, a su vez, saber el caudal que pasa por cada una de la subsecciones en que se divide la expresada sección transversal. Para eso, se realiza el siguiente procedimiento para registrar las observaciones y calcular las velocidades y caudales. A saber:

1. La sección transversal del río donde se va a realizar el aforo se divide en varias subsecciones. El número de subsecciones depende del caudal estimado que podría pasar por la sección: en cada subsección, no debería pasar más del 10% del caudal estimado que pasaría por la sección. Otro criterio a tener en cuenta es que, en cauces grandes, el número de subsecciones no debe ser menor de 20.
2. El ancho superior de la sección transversal (superficie libre del agua) se divide en tramos iguales, cuya longitud es igual al ancho superior de la sección transversal dividido por el número de subsecciones calculadas.
3. En los límites de cada tramo del ancho superior del cauce, se trazan verticales, hasta alcanzar el lecho o fondo. La profundidad de cada vertical se puede medir con la misma varilla del correntómetro que está graduada. Las verticales se trazan en el mismo momento en que se van a medir las velocidades.
4. Con el correntómetro se mide la velocidad que tiene lugar a dos profundidades en la misma vertical a 0.2 y a 0.8 partes de la profundidad de la vertical, para lo cual se toma el tiempo que demora el correntómetro en dar 100 revoluciones y se calcula el número de revoluciones por segundo; con este dato, se calcula la velocidad del agua en cada una de las profundidades utilizando la fórmula correspondiente, según el número de revoluciones por segundo (n), que hemos expresado anteriormente para nuestro caso. Se obtiene, a continuación, la velocidad promedio del agua en cada vertical. La velocidad promedio del agua en cada subsección es el promedio de las velocidades promedio de las verticales, que encierran la subsección (ver anexo 2).

5. El área de cada subsección se calculará fácilmente considerándola como un paralelogramo cuya base (ancho del tramo) se multiplica por el promedio de las profundidades que delimitan dicha subsección.
6. El caudal de agua que pasa por una subsección se obtiene multiplicando su área por el promedio de las velocidades medias registradas, en cada extremo de dicha subsección.
7. El caudal de agua que pasa por el río es la suma de los caudales que pasan por todas las subsecciones.

2. SECCIÓN COMPLETA

Adoptando por nuestra parte la batimetría del año 1983 y la velocidad media de la sección del año 1985, se obtendrían los siguientes valores de los caudales circulantes por cada perfil:

-Perfil 7: Se tendrá una $S_{83} = 325'50 \text{ m}^2$, con $\bar{V} = 1'03 \text{ m/seg.}$, al que corresponde un caudal : $Q = 325'50 \times 1'03 = \mathbf{335 \text{ m}^3/\text{seg.}}$

-Perfil 8: $Q = S_{83} \times \bar{V} = 257'16 \times 1'16 = \mathbf{298 \text{ m}^3/\text{seg.}}$

-Perfil 14: $Q = S_{83} \times \bar{V} = 583'66 \times 0'81 = \mathbf{473 \text{ m}^3/\text{seg.}}$

-Perfil 16: $Q = S_{83} \times \bar{V} = (234'83 + 284'83) \times 1'07 = \mathbf{556 \text{ m}^3/\text{seg.}}$

-Perfil 19: $Q = S_{83} \times \bar{V} = 558'50 \times 0'59 = \mathbf{330 \text{ m}^3/\text{seg.}}$

-Perfil 23: $Q = S_{83} \times \bar{V} = 415'33 \times 0'78 = \mathbf{324 \text{ m}^3/\text{seg.}}$

-Perfil 1: $Q = S_{83} \times \bar{V} = 378'50 \times 0'92 = \mathbf{348 \text{ m}^3/\text{seg.}}$

-Perfil 5: $Q = S_{83} \times \bar{V} = 563'83 \times 0'69 = \mathbf{389 \text{ m}^3/\text{seg.}}$

-Perfil 24: $Q = S_{83} \times \bar{V} = 510'66 \times 0'77 = \mathbf{393 \text{ m}^3/\text{seg.}}$

lo que ofrece un caudal medio, para todas las secciones, de $\bar{Q} = 383 \text{ m}^3/\text{seg.}$, que para una velocidad media de $\bar{V} = 0'87 \text{ m./seg.}$, ofrece, a su vez, una sección mojada media de: $\bar{S} = 440'10 \text{ m}^2$.

3. SECCIÓN CORRESPONDIENTE AL CAUDAL MÍNIMO MEDIOAMBIENTAL

Como ya se ha visto, de nuestro estudio se deduce un caudal mínimo medioambiental para el subtramo inferior II del río Ebro (el comprendido desde el azud de Xerta-Tivenys hasta el punto de captación de la toma de aguas de abastecimiento del CAT, Consorcio de Aguas de Tarragona, sito frente a la población de Campredó) de 269'00 m³/seg. (al cual habría que agregar los 2 m³/seg. de la dotación puntual máxima estimada para los riegos de Aldea-Camarles), y de 265'00 m³/seg. desde dicho punto, que se halla situado entre los perfiles transversales 19 y 23, hasta la desembocadura del río. Para el cálculo aproximado de las velocidades se ha tenido en cuenta la media aritmética de las mismas sin considerar las más superficiales (las del nivel A para las V_{269} y V_{265} y las de los niveles A y B para la V_{100}) calculadas en el estudio antedicho, habida cuenta del menor caudal y, en su consecuencia, la menor ocupación de la sección transversal del cauce que ello supone, lo que conlleva paralelamente una disminución de la velocidad media de la sección mojada del mismo.

Todo ello, sobre las secciones determinadas para el año 1983, ofrece en cada perfil los siguientes resultados, teniendo presente también el caudal mínimo o de "compensación" de 100 m³/seg. previsto en el correspondiente Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro:

$$\text{-Perfil 7: } S_{269} = \frac{Q_{269}}{V_{269}} = \frac{269}{0'97} = \mathbf{277'32 \text{ m}^2}$$

$$S_{100} = \frac{Q_{100}}{V_{100}} = \frac{100}{0'92} = \mathbf{108'70 \text{ m}^2}$$

$$\text{-Perfil 8: } S_{269} = \frac{269}{1'07} = \mathbf{251'40 \text{ m}^2}$$

$$S_{100} = \frac{100}{0'99} = \mathbf{101'01 \text{ m}^2}$$

$$\text{-Perfil 14: } S_{269} = \frac{269}{0'78} = \mathbf{344'87 \text{ m}^2}$$

$$S_{100} = \frac{100}{0'75} = \mathbf{133'33 \text{ m}^2}$$

-Perfil 16: $S_{269} = \frac{269}{1'03} = 261'17 \text{ m}^2$

$$S_{100} = \frac{100}{0'96} = 104'17 \text{ m}^2$$

-Perfil 19: $S_{269} = \frac{269}{0'59} = 455'93 \text{ m}^2$

$$S_{100} = \frac{100}{0'59} = 169'49 \text{ m}^2$$

-Perfil 23: $S_{265} = \frac{265}{0'74} = 358'11 \text{ m}^2$

$$S_{100} = \frac{100}{0'69} = 144'93 \text{ m}^2$$

-Perfil 1: $S_{265} = \frac{265}{0'87} = 304'60 \text{ m}^2$

$$S_{100} = \frac{100}{0'80} = 125'00 \text{ m}^2$$

-Perfil 5: $S_{265} = \frac{265}{0'66} = 401'52 \text{ m}^2$

$$S_{100} = \frac{100}{0'62} = 161'29 \text{ m}^2$$

-Perfil 24: $S_{265} = \frac{265}{0'73} = 363'01 \text{ m}^2$

$$S_{100} = \frac{100}{0'69} = 144'93 \text{ m}^2$$

En el anexo nº: 2 del presente libro puede verse el esquema de los nueve perfiles transversales estudiados del tramo inferior del río Ebro comprendido entre las localidades de Tortosa y Amposta, con indicación del nivel del agua del río que aproximadamente correspondería a los caudales mínimos medioambientales resultantes de nuestro estudio (269-265 m³/seg.) y los que se propugnan en el correspondiente Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro (100 m³/seg.), junto con la planta batimétrica más actualizada de la zona de cada perfil así como la tabla

de las velocidades medias aproximadas para cada uno de los caudales circulantes.

CAPÍTULO 10

NORMATIVA DEL PLAN HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL EBRO

En abril de 1996 se redactó una Normativa de dicho Plan que en el articulado correspondiente a la fijación de los volúmenes y condiciones ecológicas mínimas, que reproducimos textualmente por su interés a los efectos que aquí nos ocupan, decía lo siguiente (Arts. 38 al 44):

“Art. 38 Definición de volúmenes y condiciones ecológicas mínimas

A los efectos del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro se entienden como volúmenes y condiciones ecológicas mínimas aquellos que satisfagan el objetivo ambiental para el tramo de cuenca o masa de agua. El objetivo ambiental se fijará teniendo en cuenta la dinámica de los ecosistemas en conexión con los aspectos económicos y sociales u otros que incidan en el aprovechamiento del recurso en el área considerada.

Art. 39 Determinación de los volúmenes y condiciones ecológicas mínimas

1. Durante el primer horizonte del presente Plan, y en coordinación con las CC.AA., se desarrollarán estudios precisos para determinar los caudales ecológicos mínimos que deban circular por los diferentes cursos y tramos de río y los volúmenes mínimos que deban encontrarse en las masas de agua. Asimismo se evaluarán los relativos a la descarga de los acuíferos en lugares o zonas de interés ambiental.
2. En la red fluvial, la determinación de los caudales ecológicos mínimos se hará por tramos de cauce, especificando su valor en todos aquellos puntos en los que existan modificaciones sensibles de los caudales naturales, bien sea por retenciones, captaciones, aportaciones afluentes, vertidos o derivaciones. Cuando no sea preciso mayor subdivisión se definirán al menos en los tramos alto, medio y bajo, teniendo siempre presentes las zonas piscícolas potenciales o reales.

Art. 40 Objetivos ambientales

1. La determinación de volúmenes, caudales y condiciones ecológicas mínimas se realizará atendiendo a las interferencias entre el uso ambiental y los demás usos, con sus correspondientes implicaciones sociales, económicas y de ordenación territorial. Ello conllevará la fijación de objetivos ambientales para los distintos tramos de río, masas de agua libre y acuíferos del ámbito territorial de la planificación del Ebro.
2. Con carácter general el objetivo ambiental asumido por el Plan es el de mantenimiento de la dinámica de los ecosistemas actuales o, cuando se considere que éstos están degradados, el de su restablecimiento.
3. Para fijar estos objetivos se tendrán en cuenta las consultas y disposiciones de las CC.AA. y los organismos con competencias medioambientales, y también deberán ser oídas las entidades locales afectadas.

Art. 41 Definición de la demanda de volúmenes y condiciones ecológicas mínimas

1. La definición de los volúmenes y caudales ecológicos mínimos se llevará a cabo incluyendo los aspectos siguientes.

a) Condiciones de calidad exigibles.

b) Volumen anual y distribución temporal de los caudales o volúmenes necesarios.

c) Medidas compensatorias o expropiatorias de las concesiones que en su caso sea necesario revisar.

2. En los correspondientes modelos de simulación de sistemas, la demanda ecológica estará asociada a la correspondiente garantía.

Art. 42 Implantación de los regímenes de volúmenes y condiciones ecológicas mínimas

1. La parte de la demanda ecológica que no se encuentre subsumida en las demandas existentes o consolidadas será satisfecha adicionalmente.

2. Los criterios de revisión, compra, construcción de infraestructuras u otros acuerdos con el objetivo de la implantación sucesiva de los caudales y volúmenes ecológicos mínimos, en aquellos casos en que existen aprovechamientos cuyas cláusulas concesionales impiden su establecimiento, se establecerán a medida que se concluyan los estudios en los que se fijen los caudales ecológicos mínimos de acuerdo con el programa de trabajo incluido en el Anexo 9 de la Normativa.

3. Cualquier nueva obra o infraestructura de regulación o derivación de caudales que se construya deberá tener en cuenta la demanda de volúmenes y condiciones ecológicas mínimas que se fije aguas abajo de ella.

4. En futuras revisiones del Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro, se sintetizarán en una norma única los caudales ecológicos mínimos en base a una coordinación de los criterios mantenidos por otras Administraciones en ejercicio de competencias concurrentes con el recurso hidráulico. Como corresponde a las revisiones del Plan Hidrológico de cuenca, tales actuaciones de coordinación se llevarán a cabo en el ámbito del Consejo del Agua de la cuenca del Ebro.

Art. 43 Caudal y condiciones ecológicas mínimas del tramo final del Ebro

1. Durante el primer horizonte del presente Plan Hidrológico se abordará un programa específico para el estudio de la problemática particular del tramo final del Ebro, en coordinación con el resto de Administraciones implicadas, que desemboque en la definición cualitativa y cuantitativa de los caudales y condiciones ecológicas mínimas requeridas para este tramo.

Art. 44 Fijación provisional de los caudales ecológicos mínimos para concesiones futuras

En tanto los volúmenes y caudales ecológicos mínimos no estén fijados, se tendrán en cuenta, con carácter transitorio, las siguientes especificaciones:

1. Se adoptarán las obtenidas de estudios específicos en aquellos tramos de río en los que se haya llevado a cabo su evaluación y hayan sido aceptados por el Consejo del Agua de la cuenca del Ebro.

2. A falta de la definición que implica el apartado anterior, se adoptará, de forma orientativa, como caudal ecológico mínimo el 10% de la aportación

media interanual al régimen natural. Cuando el caudal medio interanual en régimen natural sea superior a $80 \text{ m}^3/\text{s}$ podrá adoptarse el 5%.

3. Para la zona de la desembocadura se adopta orientativamente un caudal ecológico mínimo de $100 \text{ m}^3/\text{s}$.

4. Si fuera necesario adecuar a las exigencias de caudales ecológicos mínimos definitivos una concesión otorgada tras la entrada en vigor del Plan Hidrológico en la que se imponen unas cláusulas de mantenimiento de unos caudales ecológicos mínimos provisionales, tal adecuación sólo dará lugar a los derechos establecidos en el artículo 63 de la Ley de Aguas si la nueva exigencia de caudales ecológicos mínimos se incrementa en más del 20% sobre la exigencia fijada provisionalmente²³.

²³ El texto aprobado en su día por el Consejo del Agua fue el siguiente: "Si la determinación de esos caudales provisionales en concesiones otorgadas tras la entrada en vigor del Plan Hidrológico de cuenca fuera necesario adecuar la exigencia de caudales ecológicos definitivos, sólo dará lugar a los derechos establecidos en el artículo 63 de la Ley de Aguas cuando esa modificación supere en el 20% según ponderación a llevar a cabo en las cláusulas de cada concesión." La OPH propuso al grupo de redacción el texto alternativo que figura actualmente en el Art. 44.4, para la mejor comprensión de su contenido.

CAPÍTULO 11

RESUMEN Y CONCLUSIONES FINALES

1ª) Al margen del peso específico que -al menos, a nuestro juicio- ofrecen las poderosas razones que se aportan desde diversos sectores para demostrar la inviabilidad de ciertos aspectos de la propuesta técnica del Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro y los graves daños y perjuicios que podrían derivarse para el tramo final de la cuenca hidrográfica que es objeto de nuestro estudio (el comprendido entre el sistema de embalses Mequinenza-Ribarroja-Flix y la desembocadura), surgen otras de innegable matiz socio-económico y geopolítico que requieren un delicado tratamiento y que deben contemplarse con el necesario realismo para que las soluciones que en definitiva se adopten sirvan a la causa de los diversos territorios afectados, sin exigir cruentos sacrificios a aquellos menos favorecidos por el progreso y el desarrollo.

2ª) El Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, por su extraordinaria importancia, comporta problemas que, trascendiendo de la mera política hidráulica, entran de lleno en otras esferas, especialmente en la de la ordenación del territorio, en la de las políticas agraria, comercial e industrial, etc. Teniendo en cuenta que los recursos hidrográficos de la cuenca del Ebro constituyen un atractivo especial para fomentar su propio desarrollo, consideramos que la utilización de estos recursos en la propia cuenca puede contribuir a la descongestión de otras áreas, convirtiendo este básico dispositivo infraestructural en estimulante de una adecuada política de Planificación Territorial.

3ª) Además de la preocupante falta de caudal en el río de la que venimos hablando, es necesario tener presente otros efectos negativos, directos e indirectos, que cualquier extracción indiscriminada o transferencia del recurso a otras cuencas hidrográficas podría conllevar a las tierras del tramo final del Ebro, que ya han sido suficientemente denunciados en los últimos tiempos, a saber:

A) La regresión geomorfológica del Delta (fenómeno complejo pero debido, básicamente, a que no bajan suficientes materiales sólidos por el río que sean capaces de compensar el efecto de los procesos de subsidencia de la llanura deltaica y de la erosión costera, lo que pone de manifiesto la perentoriedad de establecer un caudal sólido mínimo que compense los expresados fenómenos. Se estima, en este sentido, que el déficit anual de sedimentos en el Delta es del orden de $1'3 \times 10^6$ Tm., mientras que las estimaciones del transporte costero de sedimentos señalan un déficit de $0'4 \times 10^6$ Tm.).

B) **La salinización** (la disminución del caudal potenciará la penetración de la "cuña" salina ascendente por el lecho del río, aumentando los problemas de salinización de las tierras y de las aguas contiguas del tramo de estuario). La regulación del flujo de agua por efecto de los embalses, además de provocar unas pérdidas del recurso del orden del 22% por evaporación, ha acentuado este pernicioso efecto, al tiempo que ha forzado un cambio en la dinámica hidrológica de aquella "cuña". Desde el verano de 1988 al de 1990 se produjo un periodo de dos años con caudales muy bajos que constituyen los mínimos históricos anuales registrados en el río a su paso por las estaciones foronómicas 027 de Tortosa y 121 de Flix, lo que comportó la presencia continuada de la cuña salina en el tramo inferior (IBÁÑEZ, 1993).

C) **La alteración del equilibrio ecológico** (por efecto del cambio de composición de las aguas freáticas y de las grandes balsas del Delta, así como de la disminución del grado de dilución de los vertidos urbanos e industriales). Debe tenerse presente la existencia de un Parque Natural de gran importancia para las especies animales y vegetales que en él habitan y, sobre todo, por el papel que juega en el proceso migratorio de una gran cantidad de aves procedentes de la Camarga francesa que, en su singladura hacia las marismas del Guadalquivir y el Parque Nacional de Doñana, hacen su estancia en el Delta.

D) **El aumento de la contaminación difusa** que ya sufre toda la cuenca y el Delta, que procede de los fertilizantes y productos fitosanitarios, puede producir un empeoramiento del estado ecológico del río Ebro. Los niveles actuales de contaminación se verán agravados por la adición de nuevas zonas regables, la disminución de caudales (menor dilución) y el incremento de la regulación. Tal como ha sucedido en Cataluña con el Plan de Saneamiento, pese al considerable esfuerzo inversor de la Administración actuante en depuradoras, el estado ecológico del río puede no mejorar por culpa de la presencia de fosfatos, nitratos, nitritos, amonio, metales pesados, materia orgánica y sales diversas procedentes de la contaminación difusa de origen agrario, industrial y humano.

E) **Las interconexiones de redes** de abastecimiento entre diferentes cuencas hidrográficas amenazan la diversidad biológica porque incrementan el peligro de bioinvasiones de especies alóctonas, tal como ha puesto de manifiesto el trasvase Tajo-Segura. Las bioinvasiones constituyen ya un hecho real en el tramo inferior del Ebro por el cambio que la regulación provoca en la fluctuación natural de los caudales. Los efectos del cambio climático pueden incrementar el expresado riesgo. Todo ello puede dejar en letra muerta la interesante propuesta de crear "reservas ecológicas hidráulicas" contenida en el artículo 25 del PHN y que presupone la preservación de tramos importantes de ríos en estado natural para mantener hábitats y poblaciones viables de las especies autóctonas.

4ª) En el caso del tramo inferior del río Ebro y de su delta (Flix-desembocadura), espacio natural de extraordinario interés ecológico nacional e internacional, el denominado "caudal de compensación" previsto inicialmente en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro de 100 m³/seg., resulta insuficiente y se fijó en su día de modo aleatorio e injustificado. Tal como ya se señala en el estudio anexo, este caudal no debería ser inferior a los 273 m³/seg. en caudal ficticio continuo aguas abajo del azud de Xerta-Tivenys (subtramo II), y de 326 m³/seg. aguas arriba de dicho punto (subtramo I), distribuyéndose anualmente de acuerdo al hidrograma natural de los caudales.

5ª) Para conocer mejor sus problemas hidrogeológicos, consideramos que se deben proponer más concretos y específicos estudios en el Delta, para poder -con el transcurso del tiempo y el análisis de los datos de muchos años- llegar a establecer la alternativa más conveniente para cada zona específica y particular. Y también de acuerdo con los estudios específicos que se deberían llevar a cabo, se podría analizar cuáles deberán ser los **niveles del agua más convenientes en las zonas de turbas, para que, permitiendo un correcto cultivo del terreno, se mantengan los niveles de carga de las aguas subálveas en su justo punto.**

6ª) Se proyecta la ejecución, en toda la Cuenca, de un cierto número de obras de nueva construcción o ampliación de embalses, sin que, en contraposición, aparezca mención clara y expresa a los estudios obligados de impacto medioambiental y concretamente, a los efectos directos sobre la regresión de las zonas aluviales como el delta del Ebro. La creación y explotación de las grandes presas-depósitos va, sin duda, a regular los caudales y a reducir la frecuencia y los volúmenes máximos de las crecidas; pero la aportación sólida en la desembocadura quedará prácticamente anulada, con todos los efectos negativos que ello supone. Tampoco se contempla claramente que el aumento de la regulación y del uso del agua implican una reducción de los "retornos" al río y, consecuentemente, una disminución de las aportaciones. Sería conveniente, al respecto, la elaboración de un proyecto y/o los correspondientes estudios técnicos que contemplen las posibles soluciones a este grave problema.

7ª) El aumento de la salinidad de las aguas y de los terrenos adyacentes del tramo inferior del río, puede sobrevenir tanto como consecuencia de la disminución del caudal fluvial y el mayor ascenso de la "cuña" salina, como por efecto del menor grado de dilución de las sales, con efectos nefastos previsibles en el propio delta del Ebro. Es por ello que la determinación de los caudales ambientales que es objeto de nuestro Informe resulta de gran relevancia, pues caudales superiores a

los 200 m³/seg. pueden limitar la intrusión marina y favorecer la dilución de la propia salinidad de la cuenca. Al respecto, sería conveniente incluir en el futuro Plan una propuesta de soluciones a este problema. Así mismo, con el fin de evitar la contaminación y degradación de las aguas del río, el Plan debería fijar la construcción de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas e industriales, de tal suerte que quedara completado el proceso iniciado hace ya algunos años.

8ª) El delta del Ebro constituye un extraordinario espacio natural, que debe gozar de una protección ejemplar. Pues bien, por lo que se refiere al equilibrio ecológico cabe preguntarse: ¿de qué modo podrá influir en estos singulares ecosistemas la sustancial variación del régimen hidráulico del río Ebro que tendrá lugar como consecuencia inmediata de todas las actuaciones y aprovechamientos previstos a lo largo y ancho de su cuenca hidrográfica?.

9ª) Las actuales concesiones a las comunidades de regantes de los canales de la derecha y de la izquierda del Ebro, en su tramo final, no solamente permiten asegurar la viabilidad económica de los cultivos existentes (fundamentalmente el arroz), sino que el funcionamiento de ambos canales y de todo el complejo sistema hidráulico que de ellos se deriva, con los caudales actuales, permite mantener el equilibrio ecológico del Delta, el ecosistema del Parque Natural y el mantenimiento correcto de la plataforma deltaica para ser explotada desde el punto de vista de la pesca y de los cultivos marinos (bahías del Fangar y de los Alfaques, especialmente), tal como señala un estudio del Instituto de Ciencias del Mar, organismo vinculado al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Por todo ello, no resulta aceptable, en ningún caso, la posible reducción de las actuales concesiones administrativas a las Comunidades de Regantes de ambas márgenes, debiéndose tener en cuenta que las previsiones en cuanto a dotaciones de agua para el cultivo del arroz se sitúan en torno a los 33.500 m³/ha/año para las épocas de cultivo de dicho cereal de verano y en 10.000 m³/ha/año de mantenimiento para la época invernal. Ello permite el sostenimiento del sistema agroambiental del Delta, reconocido y apoyado financieramente por la Unión Europea, que beneficia a la casi totalidad de los agricultores y propietarios deltaicos.

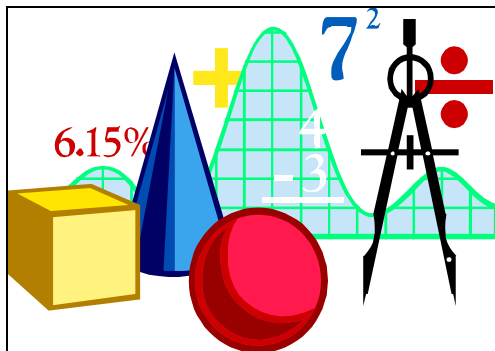
10ª) Habrá que tener presente, en la redacción definitiva de la revisión del PHC del Ebro, que el agua es un recurso natural caro y escaso, debiéndose conseguir una utilización racional y una protección adecuada del mismo. **En este orden de ideas, las dotaciones previstas en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro podrían considerarse excesivas**, tanto para usos y demandas urbanas e industriales como agropecuarias, no asumiéndose el principio básico de

carestía y ahorro que debe inspirar cualquier correcta gestión de los recursos hidráulicos en nuestro país.

11ª) La previsión de puesta en riego, en toda la cuenca, de nuevas hectáreas, contemplada en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro responde, evidentemente, a los buenos deseos de todas las partes implicadas y a la estimación de necesidades futuras -en el momento de elaborar la documentación básica del Plan- de las diferentes zonas en cuanto a la demanda de agua para regadíos, lo que puede implicar un incremento exagerado de la demanda de agua. Sin embargo, es bien cierto que las previsiones de la reforma o “chequeo médico” de la PAC (Política Agrícola Común de la UE), los acuerdos de la OMC (Organización Mundial del Comercio) sobre la globalización del comercio y la internacionalización de la economía y las prognosis relativas a la actividad agraria conducen a un reforzamiento de los programas de congelación de tierras, jubilaciones anticipadas, disminución de la protección por la vía arancelaria y de los precios garantizados, etc. Debería pensarse, pues, antes que en aumentar de forma notable la superficie regable prevista en el denominado “Pacto del Agua” de Aragón y también en otras Comunidades Autónomas de la cuenca, en proyectar acciones dirigidas a mejorar los regadíos ya existentes y a ampliar los riegos actuales únicamente con vistas a la reconversión de las producciones excedentarias por otras claramente deficitarias.

12ª) La navegabilidad del río Ebro en su tramo final, desde el embalse de Riba-roja hasta el mar, constituye un ambicioso proyecto en proceso de ejecución por la Generalitat de Catalunya (“Direcció General de Ports i Costes, Departament de Política Territorial i Obres Públiques”) y otras diversas administraciones de la zona. Es obvio que cualquier variación del régimen hidráulico fluvial (caudales mínimos, régimen de desembalse...) puede tener incidencia directa en esta nueva modalidad de explotación del recurso y, sin embargo, en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, no se contemplan, al parecer, las concomitancias que pudieran presentarse. También es necesario incorporar al Plan una propuesta de actuaciones en prevención de las avenidas y en defensa de las márgenes del río, especialmente las que se puedan derivar de la explotación del mismo como consecuencia del mencionado Proyecto de Navegabilidad, así como efectuar la correspondiente reserva de caudales.





RELACIÓN DE ANEXOS

- **ANEXO N° 1: TABLAS Y GRÁFICOS.**
- **ANEXO N° 2: PERFILES TRANSVERSALES DEL RÍO EBRO EN EL TRAMO TORTOSA-AMPOSTA (PARTE DE LOS SUBTRAMOS II Y III).**
- **ANEXO N° 3: PROPUESTA DE GESTIÓN DE CAUDALES EN EL TRAMO INFERIOR DEL RÍO EBRO.**
- **ANEXO N° 4: RESTANTES ESPECIFICACIONES METODOLÓGICAS.**
- **ANEXO N° 5: CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS.**
- **ANEXO N° 6: CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE HIDROMETRÍA.**

ANEXO 1

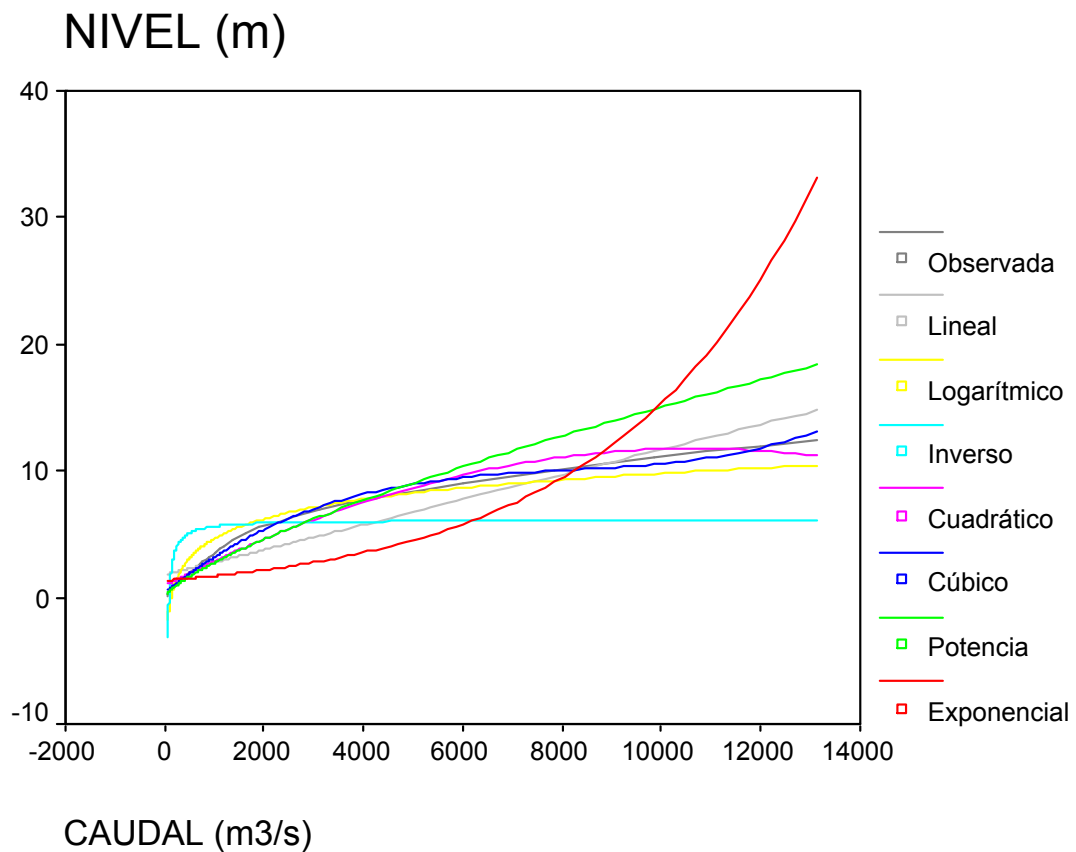
TABLAS Y GRÁFICOS

1. ESCALA NUEVA (limnómetro de la E.A. nº:27, Tortosa)

1.1. DIFERENTES REGRESIONES MÍNIMO-CUADRÁTICAS

Independent: CAUDAL

Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
ALTURA	LIN	,887	41	320,23	,000	1,7889		,0010	
ALTURA	LOG	,922	41	484,01	,000	-10,789	2,2358		
ALTURA	INV	,419	41	29,53	,000	6,1239	-508,30		
ALTURA	QUA	,969	40	621,68	,000	,9404	,0020	-9,E-08	
ALTURA	CUB	,994	39	2026,82	,000	,3994	,0032	-4,E-07	1,5E-11
ALTURA	POW	,957	41	903,73	,000	,0171	,7361		
ALTURA	EXP	,519	41	44,19	,000	1,3323	,0002		

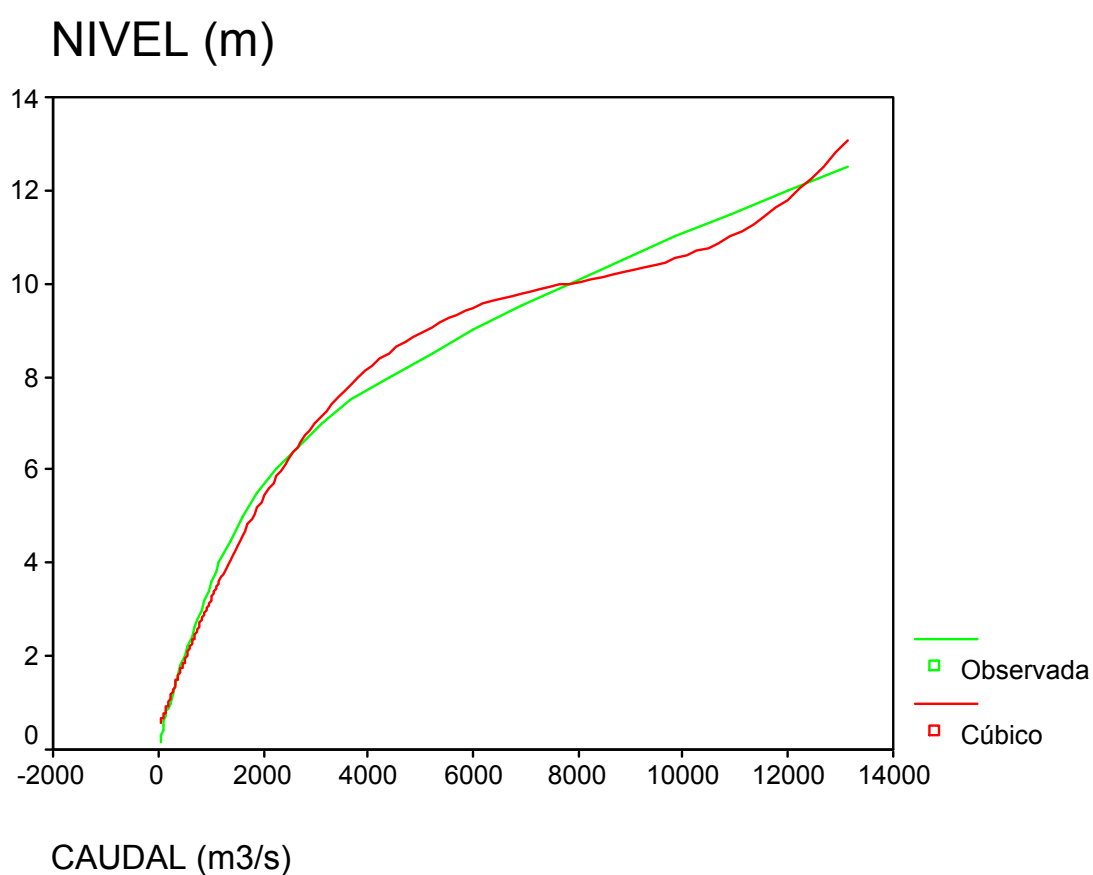


1.2. ESTIMACIÓN CURVILÍNEA SELECCIONADA

Independent: CAUDAL

Dependent	Mth	Rsqr	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
ALTURA	CUB	,994	39	2026,82	,000	,3994	,0032	-4,E-07	1,5E-11

$$\text{NIVEL} = (1,5\text{-}E\text{-}11 \cdot Q^3) - (4\text{-}E\text{-}7 \cdot Q^2) + (0,0032 \cdot Q) + 0,3994$$

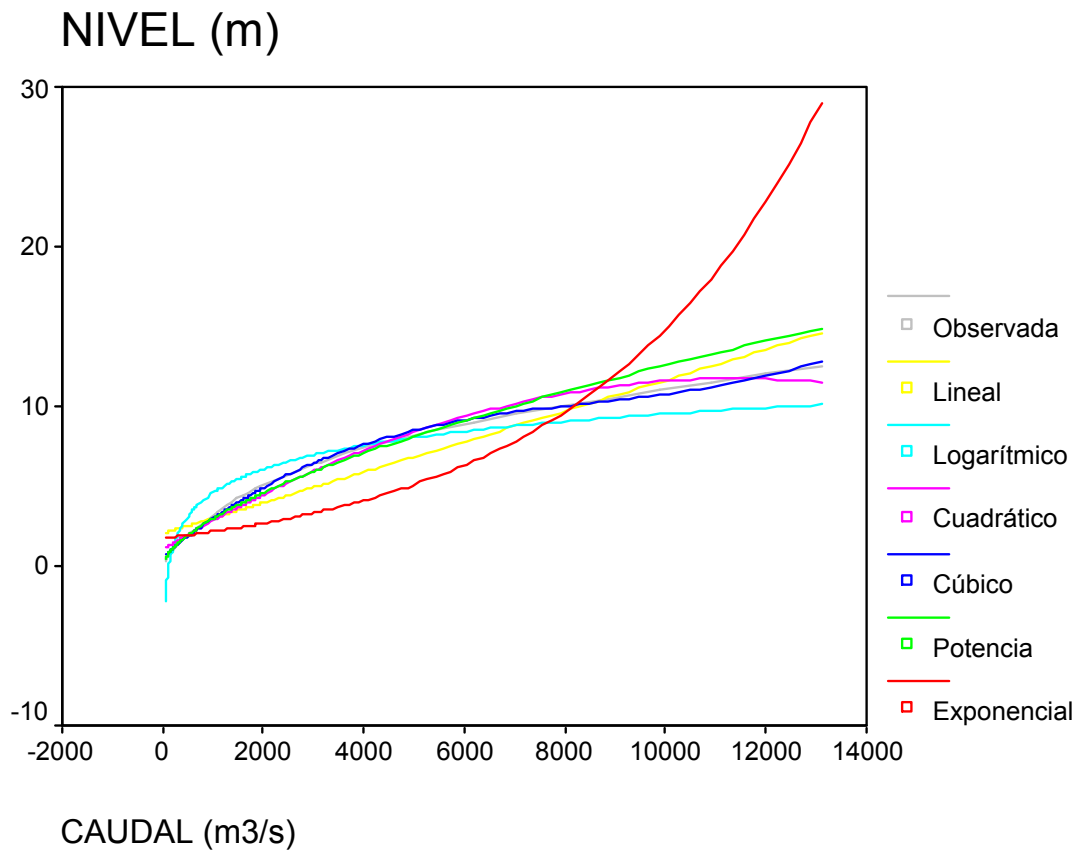


2. ESCALA ANTIGUA (limnómetro de la E.A. nº:27, Tortosa)

2.1. DIFERENTES REGRESIONES MÍNIMO-CUADRÁTICAS

Independent: CAUDAL

Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
ALTURA	LIN	,904	36	339,48	,000	2,0394	,0010		
ALTURA	LOG	,888	36	285,44	,000	-10,188	2,1395		
ALTURA	QUA	,982	35	949,20	,000	1,0367	,0019	-8,E-08	
ALTURA	CUB	,997	34	4085,25	,000	,5799	,0027	-3,E-07	1,0E-11
ALTURA	POW	,993	36	5105,26	,000	,0388	,6275		
ALTURA	EXP	,589	36	51,56	,000	1,7352	,0002		

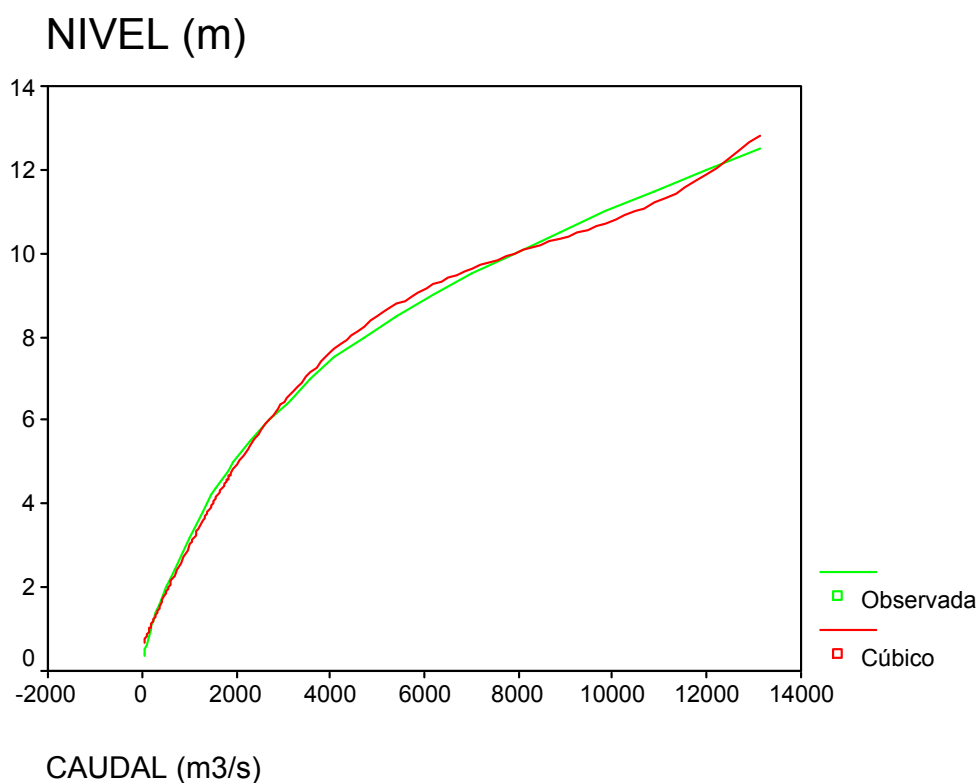


2.2. ESTIMACIÓN CURVILÍNEA SELECCIONADA

Independent: CAUDAL

Dependent	Mth	Rsqr	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
ALTURA	CUB	,997	34	4085,25	,000	,5799	,0027	-3,E-07	1,0E-11

$$\text{NIVEL} = (1 \cdot 10^{-11} \cdot Q^3) - (3 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2) + (0,0027 \cdot Q) + 0,5799$$



3. TABLAS DE CAUDALES POR MESES (12)

Mes de Septiembre - E.A. Núm. 27 (Tortosa)										
Día	t	Ajuste parábola cuadrática (m³/s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
		Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed
01-sep	0,85	66,02	177,61	121,82	0,76	1,05	0,90	0,61	0,96	0,78
02-sep	0,87	68,52	184,31	126,42	0,76	1,07	0,92	0,62	0,98	0,80
03-sep	0,89	71,00	190,99	131,00	0,77	1,08	0,93	0,62	1,00	0,81
04-sep	0,91	73,48	197,64	135,56	0,78	1,10	0,94	0,63	1,02	0,83
05-sep	0,94	75,94	204,26	140,10	0,78	1,12	0,95	0,64	1,04	0,84
06-sep	0,96	78,40	210,86	144,63	0,79	1,14	0,96	0,65	1,06	0,85
07-sep	0,98	80,84	217,44	149,14	0,80	1,15	0,98	0,66	1,08	0,87
08-sep	1,00	83,28	223,98	153,63	0,80	1,17	0,99	0,66	1,10	0,88
09-sep	1,02	85,71	230,51	158,11	0,81	1,19	1,00	0,67	1,12	0,90
10-sep	1,04	88,13	237,00	162,56	0,82	1,20	1,01	0,68	1,14	0,91
11-sep	1,06	90,53	243,47	167,00	0,82	1,22	1,02	0,69	1,16	0,92
12-sep	1,08	92,93	249,92	171,43	0,83	1,24	1,03	0,69	1,17	0,94
13-sep	1,11	95,32	256,34	175,83	0,83	1,25	1,05	0,70	1,19	0,95
14-sep	1,13	97,70	262,73	180,22	0,84	1,27	1,06	0,71	1,21	0,96
15-sep	1,15	100,07	269,10	184,59	0,85	1,28	1,07	0,72	1,23	0,98
16-sep	1,17	102,43	275,44	188,94	0,85	1,30	1,08	0,72	1,25	0,99
17-sep	1,19	104,79	281,76	193,27	0,86	1,32	1,09	0,73	1,27	1,00
18-sep	1,21	107,13	288,05	197,59	0,87	1,33	1,10	0,74	1,29	1,02
19-sep	1,23	109,46	294,32	201,89	0,87	1,35	1,11	0,74	1,31	1,03
20-sep	1,25	111,78	300,56	206,17	0,88	1,36	1,12	0,75	1,33	1,04
21-sep	1,28	114,10	306,78	210,44	0,88	1,38	1,13	0,76	1,34	1,06
22-sep	1,30	116,40	312,97	214,68	0,89	1,40	1,15	0,77	1,36	1,07
23-sep	1,32	118,69	319,13	218,91	0,90	1,41	1,16	0,77	1,38	1,08
24-sep	1,34	120,98	325,27	223,12	0,90	1,43	1,17	0,78	1,40	1,09
25-sep	1,36	123,25	331,38	227,32	0,91	1,44	1,18	0,79	1,42	1,11
26-sep	1,38	125,52	337,47	231,49	0,91	1,46	1,19	0,79	1,43	1,12
27-sep	1,40	127,77	343,53	235,65	0,92	1,47	1,20	0,80	1,45	1,13
28-sep	1,43	130,02	349,57	239,79	0,93	1,49	1,21	0,81	1,47	1,14
29-sep	1,45	132,26	355,58	243,92	0,93	1,50	1,22	0,82	1,49	1,16
30-sep	1,47	134,49	361,56	248,02	0,94	1,52	1,23	0,82	1,50	1,17

Mes de Octubre - E.A. Núm. 27 (Tortosa)										
Día	t	Ajuste parábola cuadrática (m ³ /s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
		Q _{mín}	Q _{máx}	Q _{med}	Q _{mín}	Q _{máx}	Q _{med}	Q _{mín}	Q _{máx}	Q _{med}
01-oct	1,50	137,81	370,51	254,16	0,95	1,54	1,25	0,83	1,53	1,19
02-oct	1,53	141,21	379,62	260,41	0,96	1,56	1,26	0,84	1,56	1,21
03-oct	1,57	144,57	388,67	266,62	0,96	1,58	1,28	0,85	1,58	1,22
04-oct	1,60	147,92	397,66	272,79	0,97	1,61	1,29	0,86	1,61	1,24
05-oct	1,63	151,24	406,59	278,92	0,98	1,63	1,31	0,87	1,64	1,26
06-oct	1,66	154,55	415,46	285,00	0,99	1,65	1,33	0,88	1,66	1,28
07-oct	1,70	157,82	424,27	291,05	1,00	1,67	1,34	0,89	1,69	1,30
08-oct	1,73	161,08	433,02	297,05	1,01	1,69	1,36	0,90	1,71	1,32
09-oct	1,76	164,31	441,71	303,01	1,02	1,71	1,37	0,91	1,74	1,33
10-oct	1,80	167,52	450,33	308,93	1,02	1,74	1,39	0,92	1,76	1,35
11-oct	1,83	170,71	458,90	314,81	1,03	1,76	1,40	0,93	1,79	1,37
12-oct	1,86	173,88	467,41	320,64	1,04	1,78	1,42	0,94	1,81	1,38
13-oct	1,89	177,02	475,85	326,44	1,05	1,80	1,43	0,95	1,83	1,40
14-oct	1,93	180,14	484,24	332,19	1,06	1,82	1,44	0,96	1,86	1,42
15-oct	1,96	183,24	492,56	337,90	1,06	1,84	1,46	0,97	1,88	1,44
16-oct	1,99	186,31	500,82	343,57	1,07	1,86	1,47	0,98	1,90	1,45
17-oct	2,02	189,37	509,02	349,20	1,08	1,88	1,49	0,99	1,93	1,47
18-oct	2,06	192,40	517,16	354,78	1,09	1,90	1,50	1,00	1,95	1,49
19-oct	2,09	195,40	525,24	360,32	1,10	1,92	1,51	1,01	1,97	1,50
20-oct	2,12	198,39	533,26	365,83	1,10	1,94	1,53	1,02	1,99	1,52
21-oct	2,16	201,35	541,22	371,29	1,11	1,95	1,54	1,03	2,02	1,53
22-oct	2,19	204,29	549,12	376,71	1,12	1,97	1,55	1,04	2,04	1,55
23-oct	2,22	207,21	556,96	382,08	1,13	1,99	1,57	1,05	2,06	1,56
24-oct	2,25	210,10	564,74	387,42	1,13	2,01	1,58	1,05	2,08	1,58
25-oct	2,29	212,97	572,45	392,71	1,14	2,03	1,59	1,06	2,10	1,60
26-oct	2,32	215,82	580,11	397,97	1,15	2,05	1,61	1,07	2,12	1,61
27-oct	2,35	218,65	587,70	403,18	1,16	2,07	1,62	1,08	2,14	1,63
28-oct	2,39	221,45	595,24	408,35	1,16	2,08	1,63	1,09	2,17	1,64
29-oct	2,42	224,24	602,71	413,47	1,17	2,10	1,65	1,10	2,19	1,66
30-oct	2,45	226,99	610,12	418,56	1,18	2,12	1,66	1,11	2,21	1,67
31-oct	2,48	229,73	617,47	423,60	1,18	2,14	1,67	1,11	2,23	1,68

Mes de Noviembre - E.A. Núm. 27 (Tortosa)										
		Ajuste parábola cuadrática (m³/s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
Día	t	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed
01-nov	2,50	231,03	620,97	426,00	1,19	2,14	1,68	1,12	2,24	1,69
02-nov	2,53	233,73	628,23	430,98	1,19	2,16	1,69	1,13	2,26	1,71
03-nov	2,57	236,42	635,43	435,92	1,20	2,18	1,70	1,13	2,28	1,72
04-nov	2,60	239,07	642,57	440,82	1,21	2,19	1,71	1,14	2,29	1,73
05-nov	2,63	241,71	649,65	445,68	1,22	2,21	1,72	1,15	2,31	1,75
06-nov	2,66	244,32	656,67	450,50	1,22	2,23	1,74	1,16	2,33	1,76
07-nov	2,70	246,91	663,63	455,27	1,23	2,24	1,75	1,17	2,35	1,77
08-nov	2,73	249,48	670,53	460,00	1,23	2,26	1,76	1,17	2,37	1,79
09-nov	2,76	252,02	677,36	464,69	1,24	2,27	1,77	1,18	2,39	1,80
10-nov	2,80	254,54	684,14	469,34	1,25	2,29	1,78	1,19	2,41	1,81
11-nov	2,83	257,04	690,86	473,95	1,25	2,31	1,79	1,20	2,42	1,83
12-nov	2,86	259,52	697,51	478,52	1,26	2,32	1,80	1,20	2,44	1,84
13-nov	2,89	261,97	704,10	483,04	1,27	2,34	1,82	1,21	2,46	1,85
14-nov	2,93	264,41	710,64	487,52	1,27	2,35	1,83	1,22	2,48	1,87
15-nov	2,96	266,81	717,11	491,96	1,28	2,37	1,84	1,23	2,49	1,88
16-nov	2,99	269,20	723,52	496,36	1,29	2,38	1,85	1,23	2,51	1,89
17-nov	3,03	271,57	729,87	500,72	1,29	2,39	1,86	1,24	2,53	1,90
18-nov	3,06	273,91	736,16	505,04	1,30	2,41	1,87	1,25	2,54	1,92
19-nov	3,09	276,23	742,39	509,31	1,30	2,42	1,88	1,25	2,56	1,93
20-nov	3,12	278,52	748,56	513,54	1,31	2,44	1,89	1,26	2,58	1,94
21-nov	3,16	280,79	754,67	517,73	1,31	2,45	1,90	1,27	2,59	1,95
22-nov	3,19	283,05	760,72	521,88	1,32	2,46	1,91	1,27	2,61	1,96
23-nov	3,22	285,27	766,71	525,99	1,33	2,48	1,92	1,28	2,62	1,97
24-nov	3,25	287,48	772,63	530,06	1,33	2,49	1,93	1,29	2,64	1,99
25-nov	3,29	289,66	778,50	534,08	1,34	2,50	1,94	1,29	2,66	2,00
26-nov	3,32	291,82	784,30	538,06	1,34	2,52	1,95	1,30	2,67	2,01
27-nov	3,35	293,96	790,05	542,00	1,35	2,53	1,96	1,31	2,69	2,02
28-nov	3,39	296,08	795,73	545,90	1,35	2,54	1,97	1,31	2,70	2,03
29-nov	3,42	298,17	801,35	549,76	1,36	2,56	1,98	1,32	2,71	2,04
30-nov	3,45	300,24	806,91	553,58	1,36	2,57	1,98	1,32	2,73	2,05

Mes de Diciembre - E.A. Núm. 27 (Tortosa)										
		Ajuste parábola cuadrática (m³/s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
Día	t	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed
01-dic	3,50	303,24	814,97	559,11	1,37	2,59	2,00	1,33	2,75	2,07
02-dic	3,53	305,25	820,39	562,82	1,38	2,60	2,01	1,34	2,76	2,08
03-dic	3,57	307,24	825,74	566,49	1,38	2,61	2,01	1,35	2,78	2,09
04-dic	3,60	309,21	831,03	570,12	1,39	2,62	2,02	1,35	2,79	2,10
05-dic	3,63	311,16	836,26	573,71	1,39	2,63	2,03	1,36	2,80	2,11
06-dic	3,66	313,08	841,43	577,25	1,40	2,65	2,04	1,36	2,82	2,12
07-dic	3,70	314,99	846,53	580,76	1,40	2,66	2,05	1,37	2,83	2,13
08-dic	3,73	316,86	851,58	584,22	1,41	2,67	2,06	1,37	2,84	2,14
09-dic	3,76	318,72	856,57	587,64	1,41	2,68	2,06	1,38	2,86	2,14
10-dic	3,80	320,55	861,49	591,02	1,41	2,69	2,07	1,38	2,87	2,15
11-dic	3,83	322,36	866,36	594,36	1,42	2,70	2,08	1,39	2,88	2,16
12-dic	3,86	324,15	871,16	597,66	1,42	2,71	2,09	1,40	2,89	2,17
13-dic	3,89	325,92	875,91	600,91	1,43	2,72	2,10	1,40	2,91	2,18
14-dic	3,93	327,66	880,59	604,13	1,43	2,73	2,10	1,41	2,92	2,19
15-dic	3,96	329,38	885,21	607,30	1,44	2,74	2,11	1,41	2,93	2,20
16-dic	3,99	331,08	889,77	610,43	1,44	2,75	2,12	1,42	2,94	2,21
17-dic	4,03	332,76	894,28	613,52	1,45	2,76	2,13	1,42	2,95	2,22
18-dic	4,06	334,41	898,72	616,56	1,45	2,77	2,13	1,43	2,96	2,22
19-dic	4,09	336,04	903,10	619,57	1,45	2,78	2,14	1,43	2,97	2,23
20-dic	4,12	337,65	907,41	622,53	1,46	2,79	2,15	1,43	2,98	2,24
21-dic	4,16	339,23	911,67	625,45	1,46	2,80	2,15	1,44	3,00	2,25
22-dic	4,19	340,79	915,87	628,33	1,47	2,81	2,16	1,44	3,01	2,26
23-dic	4,22	342,33	920,01	631,17	1,47	2,82	2,17	1,45	3,02	2,26
24-dic	4,25	343,85	924,08	633,97	1,47	2,83	2,17	1,45	3,03	2,27
25-dic	4,29	345,34	928,10	636,72	1,48	2,84	2,18	1,46	3,04	2,28
26-dic	4,32	346,82	932,05	639,43	1,48	2,84	2,19	1,46	3,05	2,29
27-dic	4,35	348,27	935,95	642,11	1,48	2,85	2,19	1,47	3,06	2,29
28-dic	4,39	349,69	939,78	644,73	1,49	2,86	2,20	1,47	3,07	2,30
29-dic	4,42	351,10	943,55	647,32	1,49	2,87	2,20	1,47	3,08	2,31
30-dic	4,45	352,48	947,26	649,87	1,49	2,88	2,21	1,48	3,08	2,31
31-dic	4,48	353,84	950,91	652,37	1,50	2,88	2,22	1,48	3,09	2,32

Mes de Enero - E.A. Núm. 27 (Tortosa)										
		Ajuste parábola cuadrática (m³/s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
Día	t	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed
01-ene	4,50	354,47	952,60	653,54	1,50	2,89	2,22	1,48	3,10	2,32
02-ene	4,53	355,79	956,17	655,98	1,50	2,90	2,22	1,49	3,11	2,33
03-ene	4,57	357,09	959,67	658,38	1,51	2,90	2,23	1,49	3,12	2,34
04-ene	4,60	358,38	963,11	660,74	1,51	2,91	2,24	1,50	3,12	2,34
05-ene	4,63	359,63	966,49	663,06	1,51	2,92	2,24	1,50	3,13	2,35
06-ene	4,66	360,87	969,81	665,34	1,52	2,93	2,25	1,50	3,14	2,36
07-ene	4,70	362,08	973,06	667,57	1,52	2,93	2,25	1,51	3,15	2,36
08-ene	4,73	363,27	976,26	669,77	1,52	2,94	2,26	1,51	3,16	2,37
09-ene	4,76	364,44	979,40	671,92	1,52	2,95	2,26	1,51	3,16	2,37
10-ene	4,80	365,58	982,47	674,03	1,53	2,95	2,27	1,52	3,17	2,38
11-ene	4,83	366,71	985,49	676,10	1,53	2,96	2,27	1,52	3,18	2,38
12-ene	4,86	367,81	988,44	678,12	1,53	2,97	2,28	1,52	3,19	2,39
13-ene	4,89	368,88	991,34	680,11	1,54	2,97	2,28	1,53	3,19	2,40
14-ene	4,93	369,94	994,17	682,05	1,54	2,98	2,29	1,53	3,20	2,40
15-ene	4,96	370,97	996,94	683,96	1,54	2,98	2,29	1,53	3,21	2,41
16-ene	4,99	371,98	999,65	685,82	1,54	2,99	2,29	1,54	3,21	2,41
17-ene	5,03	372,97	1.002,30	687,63	1,55	2,99	2,30	1,54	3,22	2,42
18-ene	5,06	373,93	1.004,89	689,41	1,55	3,00	2,30	1,54	3,23	2,42
19-ene	5,09	374,87	1.007,42	691,15	1,55	3,01	2,31	1,54	3,23	2,42
20-ene	5,12	375,79	1.009,89	692,84	1,55	3,01	2,31	1,55	3,24	2,43
21-ene	5,16	376,69	1.012,30	694,49	1,55	3,02	2,31	1,55	3,24	2,43
22-ene	5,19	377,56	1.014,65	696,10	1,56	3,02	2,32	1,55	3,25	2,44
23-ene	5,22	378,41	1.016,93	697,67	1,56	3,03	2,32	1,55	3,26	2,44
24-ene	5,25	379,24	1.019,16	699,20	1,56	3,03	2,32	1,56	3,26	2,45
25-ene	5,29	380,05	1.021,32	700,68	1,56	3,04	2,33	1,56	3,27	2,45
26-ene	5,32	380,83	1.023,43	702,13	1,57	3,04	2,33	1,56	3,27	2,45
27-ene	5,35	381,59	1.025,47	703,53	1,57	3,04	2,33	1,56	3,28	2,46
28-ene	5,39	382,33	1.027,45	704,89	1,57	3,05	2,34	1,57	3,28	2,46
29-ene	5,42	383,04	1.029,38	706,21	1,57	3,05	2,34	1,57	3,29	2,47
30-ene	5,45	383,74	1.031,24	707,49	1,57	3,06	2,34	1,57	3,29	2,47
31-ene	5,48	384,41	1.033,04	708,72	1,57	3,06	2,35	1,57	3,29	2,47

Mes de Febrero - E.A. Núm. 27 (Tortosa)										
		Ajuste parábola cuadrática (m ³ /s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
Día	t	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed
01-feb	5,50	384,71	1.033,86	709,29	1,57	3,06	2,35	1,57	3,30	2,47
02-feb	5,53	385,35	1.035,57	710,46	1,58	3,07	2,35	1,57	3,30	2,48
03-feb	5,57	385,96	1.037,22	711,59	1,58	3,07	2,35	1,58	3,30	2,48
04-feb	5,60	386,56	1.038,81	712,69	1,58	3,07	2,36	1,58	3,31	2,48
05-feb	5,63	387,13	1.040,34	713,73	1,58	3,08	2,36	1,58	3,31	2,49
06-feb	5,66	387,67	1.041,81	714,74	1,58	3,08	2,36	1,58	3,32	2,49
07-feb	5,70	388,20	1.043,22	715,71	1,58	3,08	2,36	1,58	3,32	2,49
08-feb	5,73	388,70	1.044,57	716,63	1,58	3,08	2,36	1,58	3,32	2,49
09-feb	5,76	389,18	1.045,85	717,51	1,59	3,09	2,37	1,59	3,33	2,50
10-feb	5,80	389,63	1.047,08	718,36	1,59	3,09	2,37	1,59	3,33	2,50
11-feb	5,83	390,07	1.048,24	719,16	1,59	3,09	2,37	1,59	3,33	2,50
12-feb	5,86	390,48	1.049,35	719,91	1,59	3,09	2,37	1,59	3,33	2,50
13-feb	5,89	390,87	1.050,39	720,63	1,59	3,10	2,37	1,59	3,34	2,50
14-feb	5,93	391,23	1.051,37	721,30	1,59	3,10	2,38	1,59	3,34	2,51
15-feb	5,96	391,58	1.052,30	721,94	1,59	3,10	2,38	1,59	3,34	2,51
16-feb	5,99	391,90	1.053,16	722,53	1,59	3,10	2,38	1,59	3,34	2,51
17-feb	6,03	392,20	1.053,96	723,08	1,59	3,10	2,38	1,59	3,35	2,51
18-feb	6,06	392,47	1.054,70	723,58	1,59	3,11	2,38	1,59	3,35	2,51
19-feb	6,09	392,72	1.055,38	724,05	1,59	3,11	2,38	1,60	3,35	2,51
20-feb	6,12	392,95	1.055,99	724,47	1,60	3,11	2,38	1,60	3,35	2,51
21-feb	6,16	393,16	1.056,55	724,86	1,60	3,11	2,38	1,60	3,35	2,51
22-feb	6,19	393,35	1.057,05	725,20	1,60	3,11	2,38	1,60	3,35	2,52
23-feb	6,22	393,51	1.057,49	725,50	1,60	3,11	2,38	1,60	3,35	2,52
24-feb	6,25	393,65	1.057,86	725,76	1,60	3,11	2,39	1,60	3,35	2,52
25-feb	6,29	393,77	1.058,18	725,97	1,60	3,11	2,39	1,60	3,36	2,52
26-feb	6,32	393,86	1.058,43	726,15	1,60	3,11	2,39	1,60	3,36	2,52
27-feb	6,35	393,93	1.058,62	726,28	1,60	3,11	2,39	1,60	3,36	2,52
28-feb	6,39	393,98	1.058,76	726,37	1,60	3,11	2,39	1,60	3,36	2,52

		Mes de Marzo - E.A. Núm. 27 (Tortosa)								
		Ajuste parábola cuadrática (m³/s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
Día	t	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed
01-mar	6,50	393,98	1.058,74	726,36	1,60	3,11	2,39	1,60	3,36	2,52
02-mar	6,53	393,93	1.058,61	726,27	1,60	3,11	2,39	1,60	3,36	2,52
03-mar	6,57	393,85	1.058,41	726,13	1,60	3,11	2,39	1,60	3,36	2,52
04-mar	6,60	393,76	1.058,15	725,95	1,60	3,11	2,39	1,60	3,36	2,52
05-mar	6,63	393,64	1.057,83	725,73	1,60	3,11	2,39	1,60	3,35	2,52
06-mar	6,66	393,50	1.057,44	725,47	1,60	3,11	2,38	1,60	3,35	2,52
07-mar	6,70	393,33	1.057,00	725,17	1,60	3,11	2,38	1,60	3,35	2,52
08-mar	6,73	393,15	1.056,50	724,82	1,60	3,11	2,38	1,60	3,35	2,51
09-mar	6,76	392,94	1.055,93	724,43	1,60	3,11	2,38	1,60	3,35	2,51
10-mar	6,80	392,70	1.055,31	724,01	1,59	3,11	2,38	1,60	3,35	2,51
11-mar	6,83	392,45	1.054,62	723,54	1,59	3,11	2,38	1,59	3,35	2,51
12-mar	6,86	392,17	1.053,88	723,02	1,59	3,10	2,38	1,59	3,35	2,51
13-mar	6,89	391,87	1.053,07	722,47	1,59	3,10	2,38	1,59	3,34	2,51
14-mar	6,93	391,55	1.052,20	721,88	1,59	3,10	2,38	1,59	3,34	2,51
15-mar	6,96	391,20	1.051,28	721,24	1,59	3,10	2,37	1,59	3,34	2,50
16-mar	6,99	390,84	1.050,29	720,56	1,59	3,10	2,37	1,59	3,34	2,50
17-mar	7,03	390,45	1.049,24	719,84	1,59	3,09	2,37	1,59	3,33	2,50
18-mar	7,06	390,03	1.048,13	719,08	1,59	3,09	2,37	1,59	3,33	2,50
19-mar	7,09	389,60	1.046,96	718,28	1,59	3,09	2,37	1,59	3,33	2,50
20-mar	7,12	389,14	1.045,72	717,43	1,59	3,09	2,37	1,58	3,33	2,49
21-mar	7,16	388,66	1.044,43	716,54	1,58	3,08	2,36	1,58	3,32	2,49
22-mar	7,19	388,15	1.043,08	715,62	1,58	3,08	2,36	1,58	3,32	2,49
23-mar	7,22	387,63	1.041,66	714,65	1,58	3,08	2,36	1,58	3,32	2,49
24-mar	7,25	387,08	1.040,19	713,63	1,58	3,08	2,36	1,58	3,31	2,48
25-mar	7,29	386,51	1.038,65	712,58	1,58	3,07	2,36	1,58	3,31	2,48
26-mar	7,32	385,91	1.037,06	711,49	1,58	3,07	2,35	1,58	3,30	2,48
27-mar	7,35	385,30	1.035,40	710,35	1,58	3,06	2,35	1,57	3,30	2,48
28-mar	7,39	384,66	1.033,68	709,17	1,57	3,06	2,35	1,57	3,30	2,47
29-mar	7,42	384,00	1.031,90	707,95	1,57	3,06	2,34	1,57	3,29	2,47
30-mar	7,45	383,31	1.030,07	706,69	1,57	3,05	2,34	1,57	3,29	2,47
31-mar	7,48	382,61	1.028,17	705,39	1,57	3,05	2,34	1,57	3,28	2,46

Mes de Abril - E.A. Núm. 27 (Tortosa)										
		Ajuste parábola cuadrática (m ³ /s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
Día	t	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed
01-abr	7,50	382,27	1027,25	704,76	1,57	3,05	2,34	1,57	3,28	2,46
02-abr	7,53	381,53	1025,26	703,40	1,57	3,04	2,33	1,56	3,28	2,46
03-abr	7,57	380,76	1023,22	701,99	1,57	3,04	2,33	1,56	3,27	2,45
04-abr	7,60	379,98	1021,10	700,54	1,56	3,03	2,33	1,56	3,27	2,45
05-abr	7,63	379,17	1018,93	699,05	1,56	3,03	2,32	1,56	3,26	2,45
06-abr	7,66	378,34	1016,70	697,52	1,56	3,03	2,32	1,55	3,26	2,44
07-abr	7,70	377,49	1014,41	695,95	1,56	3,02	2,32	1,55	3,25	2,44
08-abr	7,73	376,61	1012,06	694,33	1,55	3,02	2,31	1,55	3,24	2,43
09-abr	7,76	375,71	1009,64	692,68	1,55	3,01	2,31	1,55	3,24	2,43
10-abr	7,80	374,79	1007,17	690,98	1,55	3,01	2,31	1,54	3,23	2,42
11-abr	7,83	373,85	1004,63	689,24	1,55	3,00	2,30	1,54	3,23	2,42
12-abr	7,86	372,88	1002,04	687,46	1,55	2,99	2,30	1,54	3,22	2,42
13-abr	7,89	371,90	999,38	685,64	1,54	2,99	2,29	1,53	3,21	2,41
14-abr	7,93	370,88	996,66	683,77	1,54	2,98	2,29	1,53	3,21	2,41
15-abr	7,96	369,85	993,88	681,87	1,54	2,98	2,28	1,53	3,20	2,40
16-abr	7,99	368,79	991,04	679,92	1,54	2,97	2,28	1,53	3,19	2,39
17-abr	8,03	367,72	988,14	677,93	1,53	2,96	2,28	1,52	3,19	2,39
18-abr	8,06	366,61	985,18	675,90	1,53	2,96	2,27	1,52	3,18	2,38
19-abr	8,09	365,49	982,16	673,83	1,53	2,95	2,27	1,52	3,17	2,38
20-abr	8,12	364,34	979,08	671,71	1,52	2,95	2,26	1,51	3,16	2,37
21-abr	8,16	363,17	975,94	669,55	1,52	2,94	2,26	1,51	3,16	2,37
22-abr	8,19	361,98	972,73	667,36	1,52	2,93	2,25	1,51	3,15	2,36
23-abr	8,22	360,77	969,47	665,12	1,52	2,92	2,25	1,50	3,14	2,36
24-abr	8,25	359,53	966,14	662,84	1,51	2,92	2,24	1,50	3,13	2,35
25-abr	8,29	358,27	962,76	660,51	1,51	2,91	2,24	1,50	3,12	2,34
26-abr	8,32	356,99	959,31	658,15	1,51	2,90	2,23	1,49	3,11	2,34
27-abr	8,35	355,68	955,80	655,74	1,50	2,90	2,22	1,49	3,11	2,33
28-abr	8,39	354,35	952,24	653,30	1,50	2,89	2,22	1,48	3,10	2,32
29-abr	8,42	353,00	948,61	650,81	1,50	2,88	2,21	1,48	3,09	2,32
30-abr	8,45	351,63	944,92	648,28	1,49	2,87	2,21	1,48	3,08	2,31

		Mes de Mayo - E.A. Núm. 27 (Tortosa)								
		Ajuste parábola cuadrática (m³/s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
Día	t	Q _{mín}	Q _{máx}	Q _{med}	Q _{mín}	Q _{máx}	Q _{med}	Q _{mín}	Q _{máx}	Q _{med}
01-may	8,50	349,57	939,39	644,48	1,49	2,86	2,20	1,47	3,06	2,30
02-may	8,53	348,15	935,55	641,85	1,48	2,85	2,19	1,47	3,06	2,29
03-may	8,57	346,69	931,65	639,17	1,48	2,84	2,19	1,46	3,05	2,29
04-may	8,60	345,22	927,69	636,45	1,48	2,83	2,18	1,46	3,04	2,28
05-may	8,63	343,72	923,67	633,70	1,47	2,83	2,17	1,45	3,03	2,27
06-may	8,66	342,21	919,59	630,90	1,47	2,82	2,17	1,45	3,02	2,26
07-may	8,70	340,66	915,44	628,05	1,47	2,81	2,16	1,44	3,01	2,26
08-may	8,73	339,10	911,24	625,17	1,46	2,80	2,15	1,44	2,99	2,25
09-may	8,76	337,51	906,97	622,24	1,46	2,79	2,15	1,43	2,98	2,24
10-may	8,80	335,90	902,65	619,28	1,45	2,78	2,14	1,43	2,97	2,23
11-may	8,83	334,27	898,26	616,27	1,45	2,77	2,13	1,42	2,96	2,22
12-may	8,86	332,62	893,82	613,22	1,45	2,76	2,13	1,42	2,95	2,21
13-may	8,89	330,94	889,31	610,13	1,44	2,75	2,12	1,42	2,94	2,21
14-may	8,93	329,24	884,74	606,99	1,44	2,74	2,11	1,41	2,93	2,20
15-may	8,96	327,52	880,11	603,82	1,43	2,73	2,10	1,41	2,92	2,19
16-may	8,99	325,77	875,42	600,60	1,43	2,72	2,10	1,40	2,90	2,18
17-may	9,03	324,01	870,67	597,34	1,42	2,71	2,09	1,39	2,89	2,17
18-may	9,06	322,21	865,86	594,04	1,42	2,70	2,08	1,39	2,88	2,16
19-may	9,09	320,40	860,99	590,70	1,41	2,69	2,07	1,38	2,87	2,15
20-may	9,12	318,57	856,06	587,31	1,41	2,68	2,06	1,38	2,86	2,14
21-may	9,16	316,71	851,07	583,89	1,41	2,67	2,06	1,37	2,84	2,13
22-may	9,19	314,83	846,01	580,42	1,40	2,66	2,05	1,37	2,83	2,12
23-may	9,22	312,93	840,90	576,91	1,40	2,64	2,04	1,36	2,82	2,12
24-may	9,25	311,00	835,72	573,36	1,39	2,63	2,03	1,36	2,80	2,11
25-may	9,29	309,05	830,49	569,77	1,39	2,62	2,02	1,35	2,79	2,10
26-may	9,32	307,08	825,19	566,14	1,38	2,61	2,01	1,34	2,78	2,09
27-may	9,35	305,09	819,83	562,46	1,38	2,60	2,01	1,34	2,76	2,08
28-may	9,39	303,07	814,42	558,74	1,37	2,59	2,00	1,33	2,75	2,07
29-may	9,42	301,03	808,94	554,98	1,37	2,57	1,99	1,33	2,73	2,05
30-may	9,45	298,97	803,40	551,18	1,36	2,56	1,98	1,32	2,72	2,04
31-may	9,48	296,89	797,80	547,34	1,36	2,55	1,97	1,31	2,71	2,03

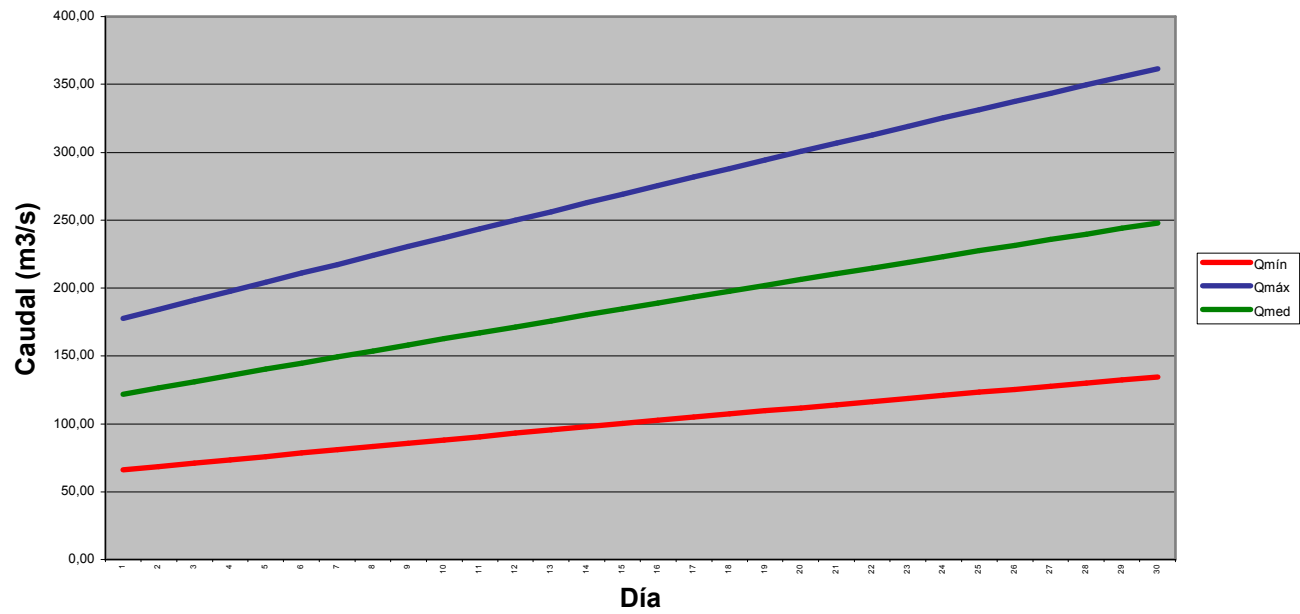
		Mes de Junio - E.A. Núm. 27 (Tortosa)								
		Ajuste parábola cuadrática (m³/s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
Día	t	Q _{mín}	Q _{máx}	Q _{med}	Q _{mín}	Q _{máx}	Q _{med}	Q _{mín}	Q _{máx}	Q _{med}
01-jun	9,50	295,90	795,15	545,53	1,35	2,54	1,97	1,31	2,70	2,03
02-jun	9,53	293,78	789,46	541,62	1,35	2,53	1,96	1,31	2,68	2,02
03-jun	9,57	291,64	783,71	537,68	1,34	2,52	1,95	1,30	2,67	2,01
04-jun	9,60	289,48	777,90	533,69	1,34	2,50	1,94	1,29	2,65	2,00
05-jun	9,63	287,30	772,03	529,66	1,33	2,49	1,93	1,29	2,64	1,98
06-jun	9,66	285,09	766,10	525,59	1,33	2,48	1,92	1,28	2,62	1,97
07-jun	9,70	282,86	760,10	521,48	1,32	2,46	1,91	1,27	2,61	1,96
08-jun	9,73	280,61	754,05	517,33	1,31	2,45	1,90	1,27	2,59	1,95
09-jun	9,76	278,33	747,93	513,13	1,31	2,44	1,89	1,26	2,58	1,94
10-jun	9,80	276,03	741,76	508,90	1,30	2,42	1,88	1,25	2,56	1,93
11-jun	9,83	273,71	735,52	504,62	1,30	2,41	1,87	1,25	2,54	1,91
12-jun	9,86	271,37	729,23	500,30	1,29	2,39	1,86	1,24	2,53	1,90
13-jun	9,89	269,00	722,87	495,94	1,28	2,38	1,85	1,23	2,51	1,89
14-jun	9,93	266,62	716,45	491,53	1,28	2,36	1,84	1,22	2,49	1,88
15-jun	9,96	264,20	709,97	487,09	1,27	2,35	1,83	1,22	2,48	1,86
16-jun	9,99	261,77	703,43	482,60	1,27	2,33	1,81	1,21	2,46	1,85
17-jun	10,03	259,32	696,83	478,07	1,26	2,32	1,80	1,20	2,44	1,84
18-jun	10,06	256,84	690,17	473,50	1,25	2,30	1,79	1,20	2,42	1,83
19-jun	10,09	254,34	683,45	468,89	1,25	2,29	1,78	1,19	2,40	1,81
20-jun	10,12	251,81	676,67	464,24	1,24	2,27	1,77	1,18	2,39	1,80
21-jun	10,16	249,26	669,82	459,54	1,23	2,26	1,76	1,17	2,37	1,79
22-jun	10,19	246,70	662,92	454,81	1,23	2,24	1,75	1,16	2,35	1,77
23-jun	10,22	244,10	655,96	450,03	1,22	2,22	1,74	1,16	2,33	1,76
24-jun	10,25	241,49	648,93	445,21	1,21	2,21	1,72	1,15	2,31	1,75
25-jun	10,29	238,85	641,84	440,35	1,21	2,19	1,71	1,14	2,29	1,73
26-jun	10,32	236,19	634,70	435,45	1,20	2,18	1,70	1,13	2,27	1,72
27-jun	10,35	233,51	627,49	430,50	1,19	2,16	1,69	1,13	2,25	1,70
28-jun	10,39	230,81	620,22	425,51	1,19	2,14	1,68	1,12	2,23	1,69
29-jun	10,42	228,08	612,89	420,49	1,18	2,12	1,66	1,11	2,21	1,68
30-jun	10,45	225,33	605,50	415,42	1,17	2,11	1,65	1,10	2,19	1,66

		Mes de Julio - E.A. Núm. 27 (Tortosa)								
		Ajuste parábola cuadrática (m³/s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
Día	t	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed
01-jul	10,50	221,25	594,54	407,89	1,16	2,08	1,63	1,09	2,16	1,64
02-jul	10,53	218,44	587,00	402,72	1,16	2,06	1,62	1,08	2,14	1,62
03-jul	10,57	215,61	579,40	397,51	1,15	2,05	1,61	1,07	2,12	1,61
04-jul	10,60	212,76	571,74	392,25	1,14	2,03	1,59	1,06	2,10	1,59
05-jul	10,63	209,89	564,01	386,95	1,13	2,01	1,58	1,05	2,08	1,58
06-jul	10,66	206,99	556,23	381,61	1,13	1,99	1,57	1,04	2,06	1,56
07-jul	10,70	204,07	548,39	376,23	1,12	1,97	1,55	1,04	2,04	1,55
08-jul	10,73	201,13	540,48	370,81	1,11	1,95	1,54	1,03	2,01	1,53
09-jul	10,76	198,17	532,52	365,34	1,10	1,93	1,53	1,02	1,99	1,52
10-jul	10,80	195,18	524,49	359,84	1,10	1,91	1,51	1,01	1,97	1,50
11-jul	10,83	192,17	516,41	354,29	1,09	1,90	1,50	1,00	1,95	1,48
12-jul	10,86	189,14	508,26	348,70	1,08	1,88	1,49	0,99	1,92	1,47
13-jul	10,89	186,09	500,05	343,07	1,07	1,86	1,47	0,98	1,90	1,45
14-jul	10,93	183,01	491,79	337,40	1,06	1,84	1,46	0,97	1,88	1,43
15-jul	10,96	179,91	483,46	331,68	1,06	1,82	1,44	0,96	1,85	1,42
16-jul	10,99	176,79	475,07	325,93	1,05	1,80	1,43	0,95	1,83	1,40
17-jul	11,03	173,65	466,62	320,13	1,04	1,78	1,41	0,94	1,81	1,38
18-jul	11,06	170,48	458,11	314,29	1,03	1,75	1,40	0,93	1,78	1,37
19-jul	11,09	167,29	449,53	308,41	1,02	1,73	1,38	0,92	1,76	1,35
20-jul	11,12	164,08	440,90	302,49	1,01	1,71	1,37	0,91	1,73	1,33
21-jul	11,16	160,84	432,21	296,52	1,01	1,69	1,35	0,90	1,71	1,31
22-jul	11,19	157,58	423,45	290,52	1,00	1,67	1,34	0,89	1,68	1,30
23-jul	11,22	154,30	414,64	284,47	0,99	1,65	1,32	0,88	1,66	1,28
24-jul	11,25	151,00	405,76	278,38	0,98	1,63	1,31	0,87	1,63	1,26
25-jul	11,29	147,67	396,83	272,25	0,97	1,60	1,29	0,86	1,61	1,24
26-jul	11,32	144,33	387,83	266,08	0,96	1,58	1,28	0,85	1,58	1,22
27-jul	11,35	140,96	378,77	259,86	0,95	1,56	1,26	0,84	1,55	1,20
28-jul	11,39	137,56	369,65	253,61	0,95	1,54	1,25	0,83	1,53	1,19
29-jul	11,42	134,15	360,48	247,31	0,94	1,51	1,23	0,82	1,50	1,17
30-jul	11,45	130,71	351,24	240,97	0,93	1,49	1,21	0,81	1,47	1,15
31-jul	11,48	127,25	341,93	234,59	0,92	1,47	1,20	0,80	1,45	1,13

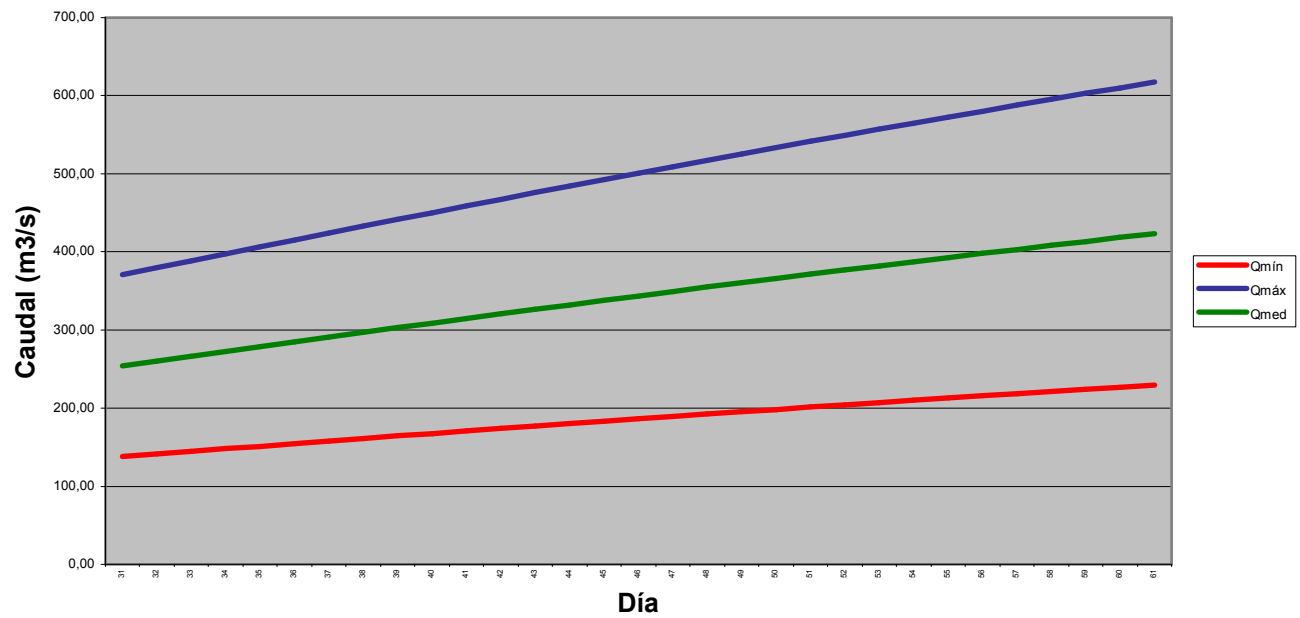
Mes de Agosto - E.A. Núm. 27 (Tortosa)										
		Ajuste parábola cuadrática (m³/s)			Escala Limnómetro Antigua (m)			Escala Limnómetro Nueva (m)		
Día	t	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed	Qmín	Qmáx	Qmed
01-ago	11,50	125,62	337,55	231,58	0,91	1,46	1,19	0,80	1,43	1,12
02-ago	11,53	122,12	328,16	225,14	0,91	1,43	1,17	0,78	1,41	1,10
03-ago	11,57	118,60	318,71	218,66	0,90	1,41	1,16	0,77	1,38	1,08
04-ago	11,60	115,06	309,20	212,13	0,89	1,39	1,14	0,76	1,35	1,06
05-ago	11,63	111,50	299,63	205,56	0,88	1,36	1,12	0,75	1,32	1,04
06-ago	11,66	107,92	289,99	198,96	0,87	1,34	1,11	0,74	1,29	1,02
07-ago	11,70	104,31	280,30	192,31	0,86	1,31	1,09	0,73	1,27	1,00
08-ago	11,73	100,68	270,55	185,61	0,85	1,29	1,07	0,72	1,24	0,98
09-ago	11,76	97,03	260,73	178,88	0,84	1,26	1,05	0,71	1,21	0,96
10-ago	11,80	93,35	250,86	172,10	0,83	1,24	1,04	0,69	1,18	0,94
11-ago	11,83	89,66	240,92	165,29	0,82	1,21	1,02	0,68	1,15	0,92
12-ago	11,86	85,94	230,92	158,43	0,81	1,19	1,00	0,67	1,12	0,90
13-ago	11,89	82,19	220,86	151,53	0,80	1,16	0,98	0,66	1,09	0,88
14-ago	11,93	78,43	210,75	144,59	0,79	1,14	0,96	0,65	1,06	0,85
15-ago	11,96	74,64	200,57	137,60	0,78	1,11	0,95	0,64	1,03	0,83
16-ago	11,99	70,83	190,33	130,58	0,77	1,08	0,93	0,62	0,99	0,81
17-ago	12,03	67,00	180,03	123,51	0,76	1,06	0,91	0,61	0,96	0,79
18-ago	12,06	63,14	169,67	116,40	0,75	1,03	0,89	0,60	0,93	0,77
19-ago	12,07	61,63	165,60	113,61	0,75	1,02	0,88	0,60	0,92	0,76
20-ago	12,08	60,11	161,53	110,82	0,74	1,01	0,88	0,59	0,91	0,75
21-ago	12,10	58,59	157,45	108,02	0,74	1,00	0,87	0,59	0,89	0,74
22-ago	12,11	57,07	153,35	105,21	0,73	0,99	0,86	0,58	0,88	0,73
23-ago	12,12	55,54	149,25	102,40	0,73	0,98	0,85	0,58	0,87	0,72
24-ago	12,13	54,01	145,14	99,58	0,72	0,97	0,85	0,57	0,86	0,71
25-ago	12,15	52,48	141,02	96,75	0,72	0,95	0,84	0,57	0,84	0,71
26-ago	12,16	50,94	136,90	93,92	0,72	0,94	0,83	0,56	0,83	0,70
27-ago	12,17	49,40	132,76	91,08	0,71	0,93	0,82	0,56	0,82	0,69
28-ago	12,19	47,86	128,61	88,24	0,71	0,92	0,82	0,55	0,80	0,68
29-ago	12,20	46,31	124,45	85,38	0,70	0,91	0,81	0,55	0,79	0,67
30-ago	12,21	44,76	120,29	82,53	0,70	0,90	0,80	0,54	0,78	0,66
31-ago	12,22	43,21	116,11	79,66	0,70	0,89	0,79	0,54	0,77	0,65

4. GRÁFICOS DE CAUDALES POR MESES (12)

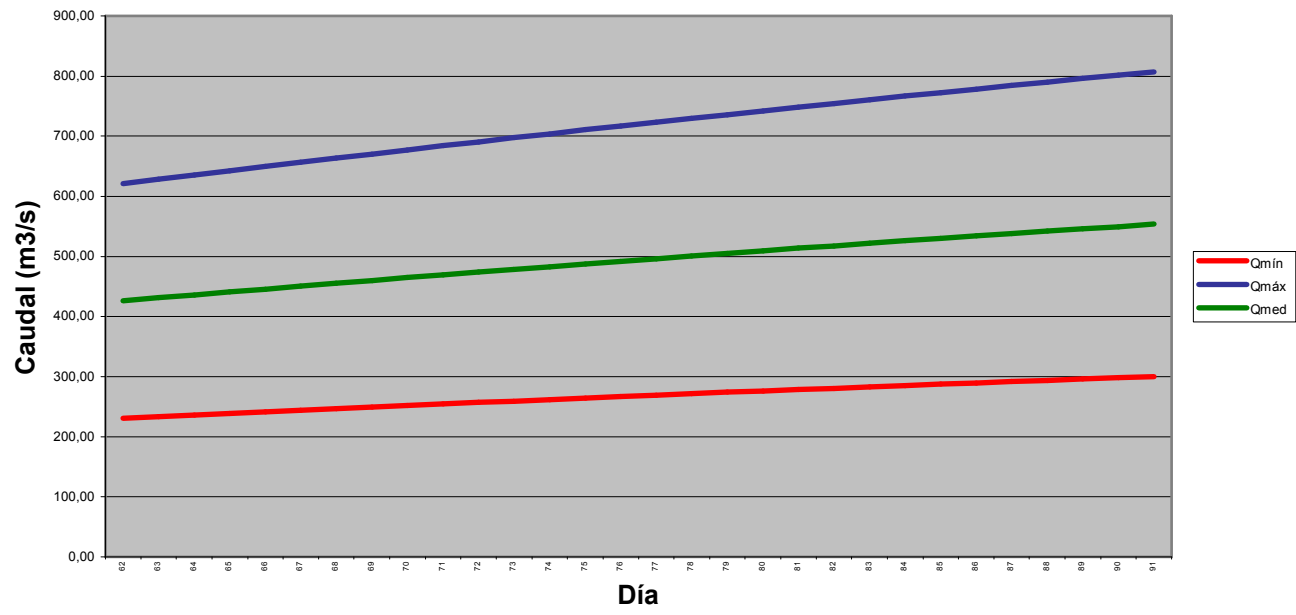
Septiembre



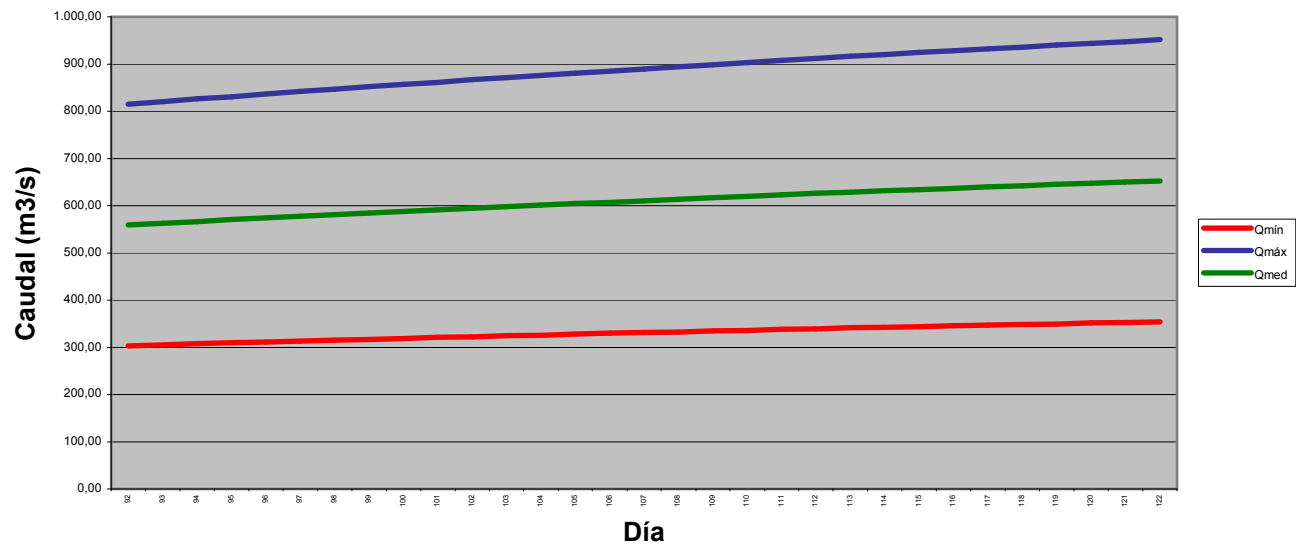
Octubre

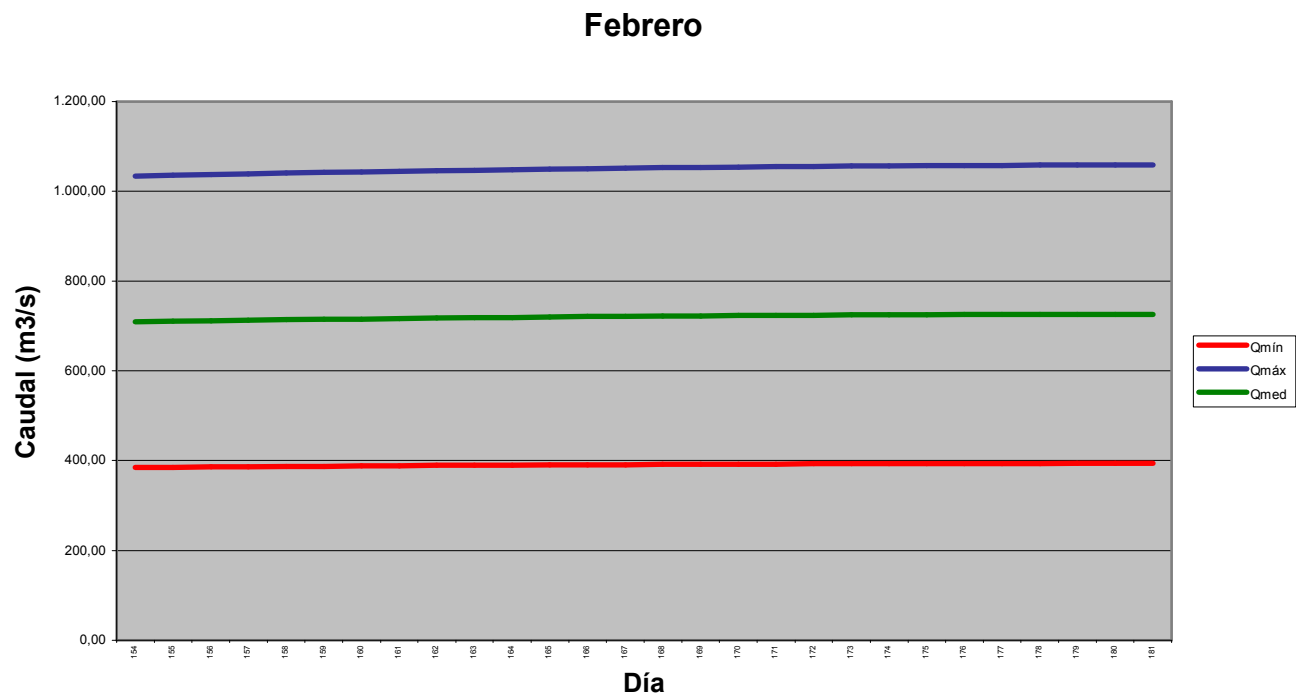
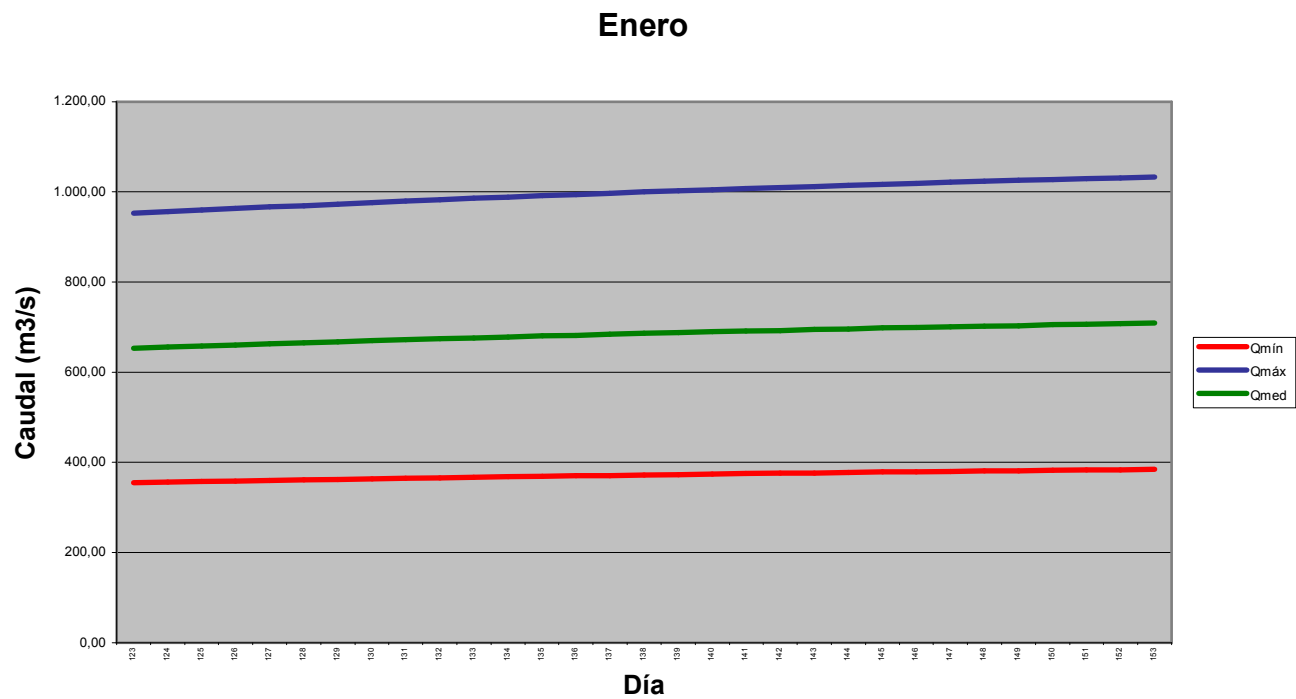


Noviembre

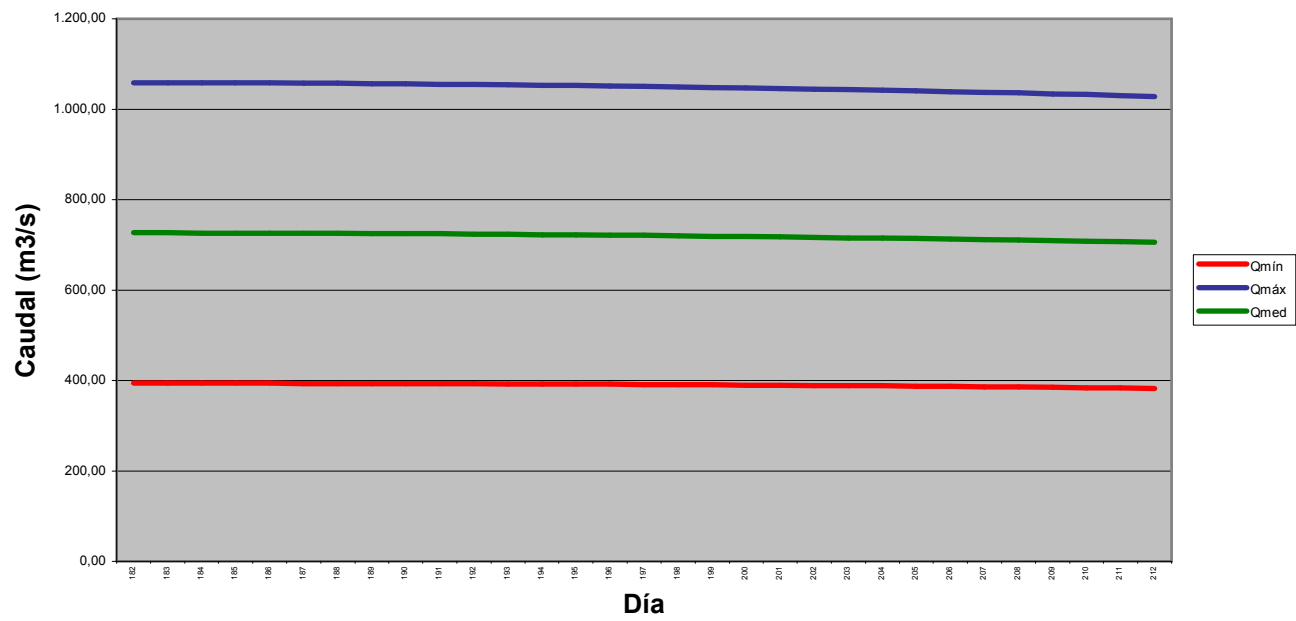


Diciembre

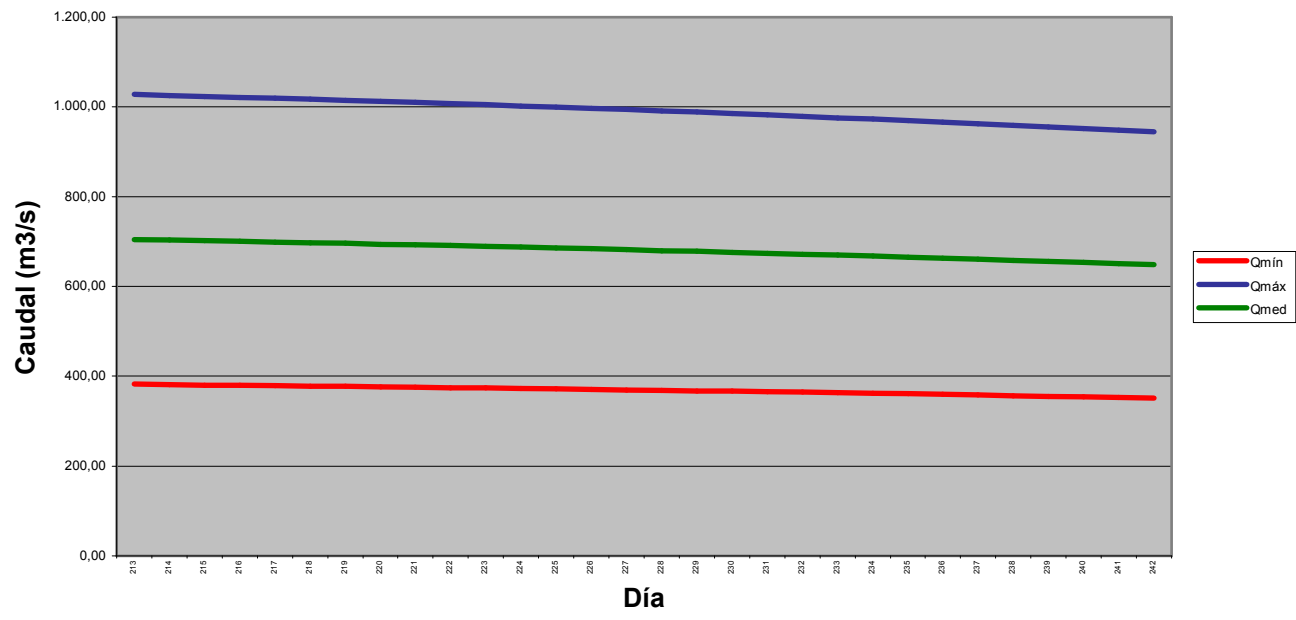




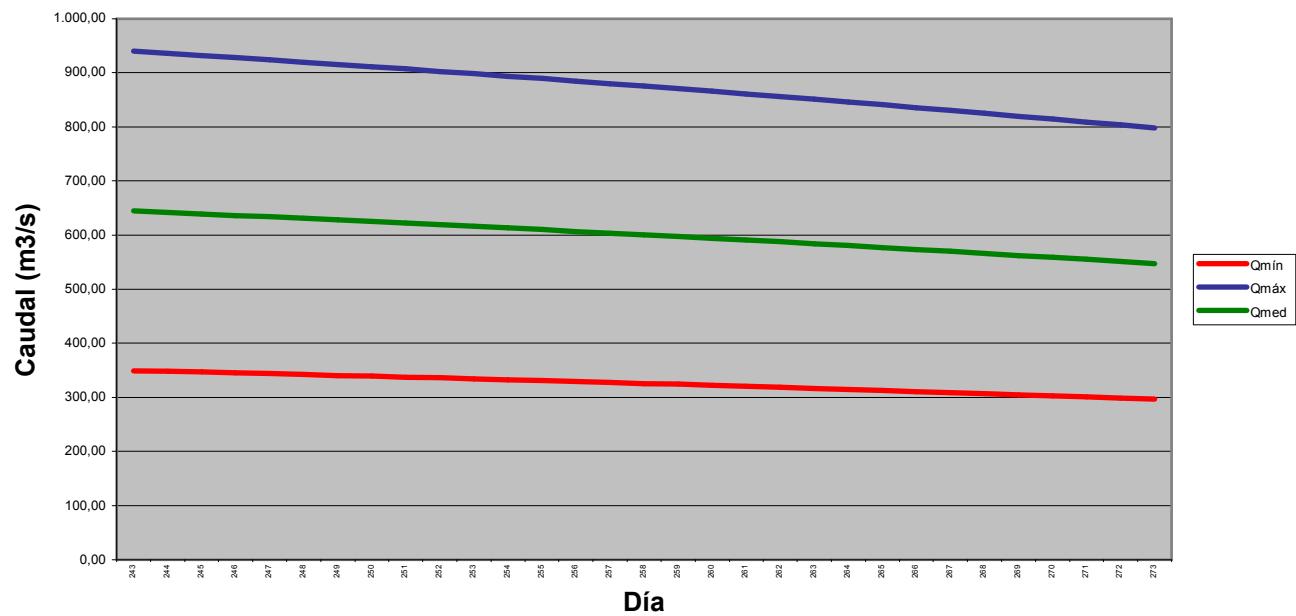
Marzo



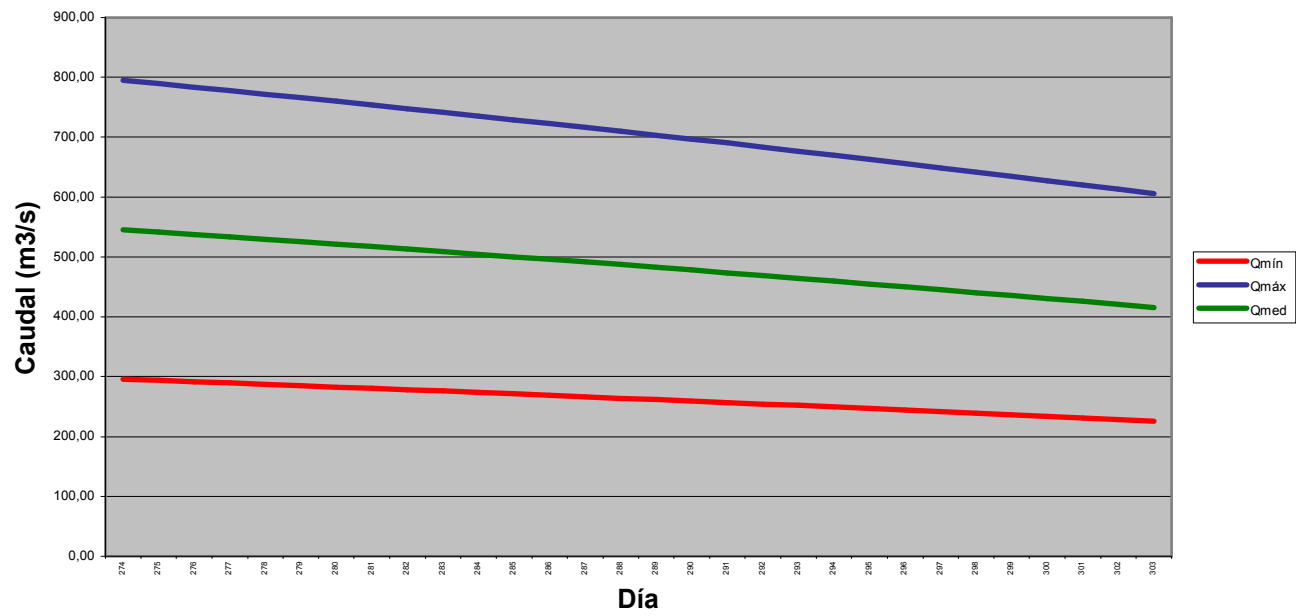
Abril



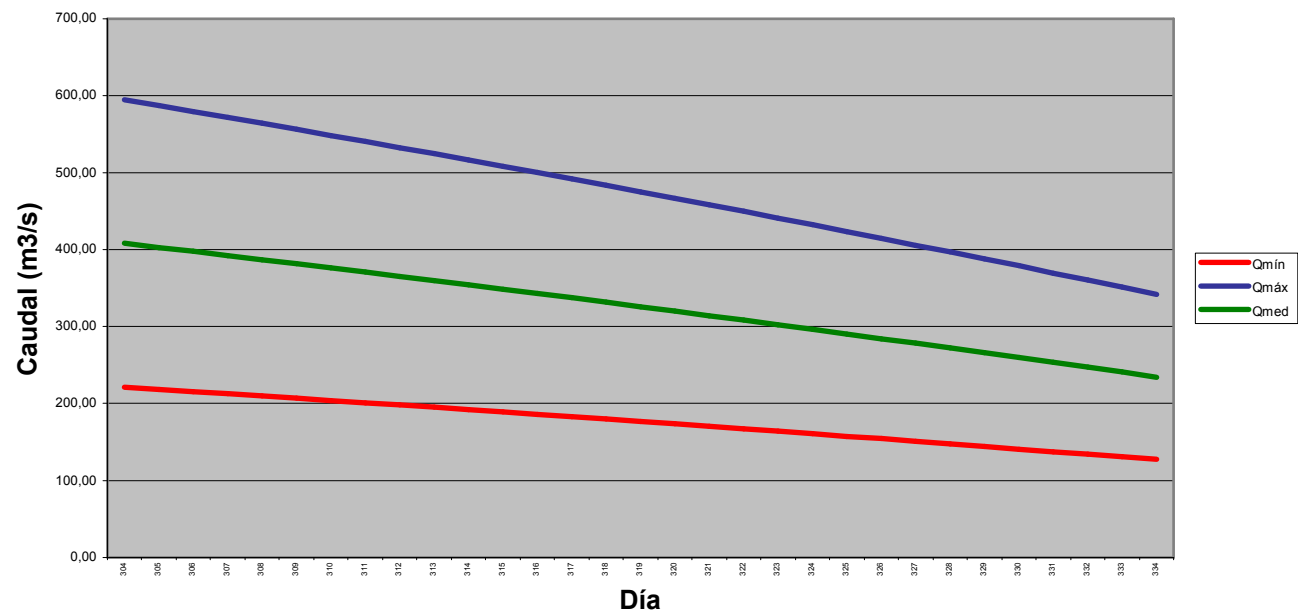
Mayo



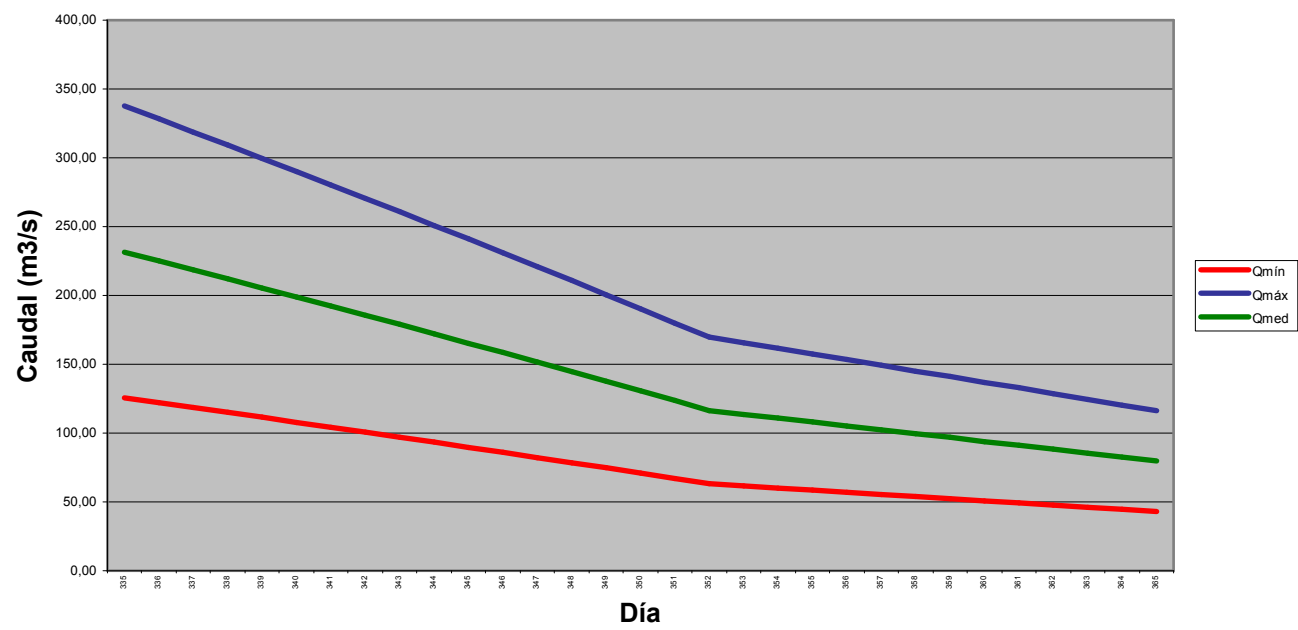
Junio

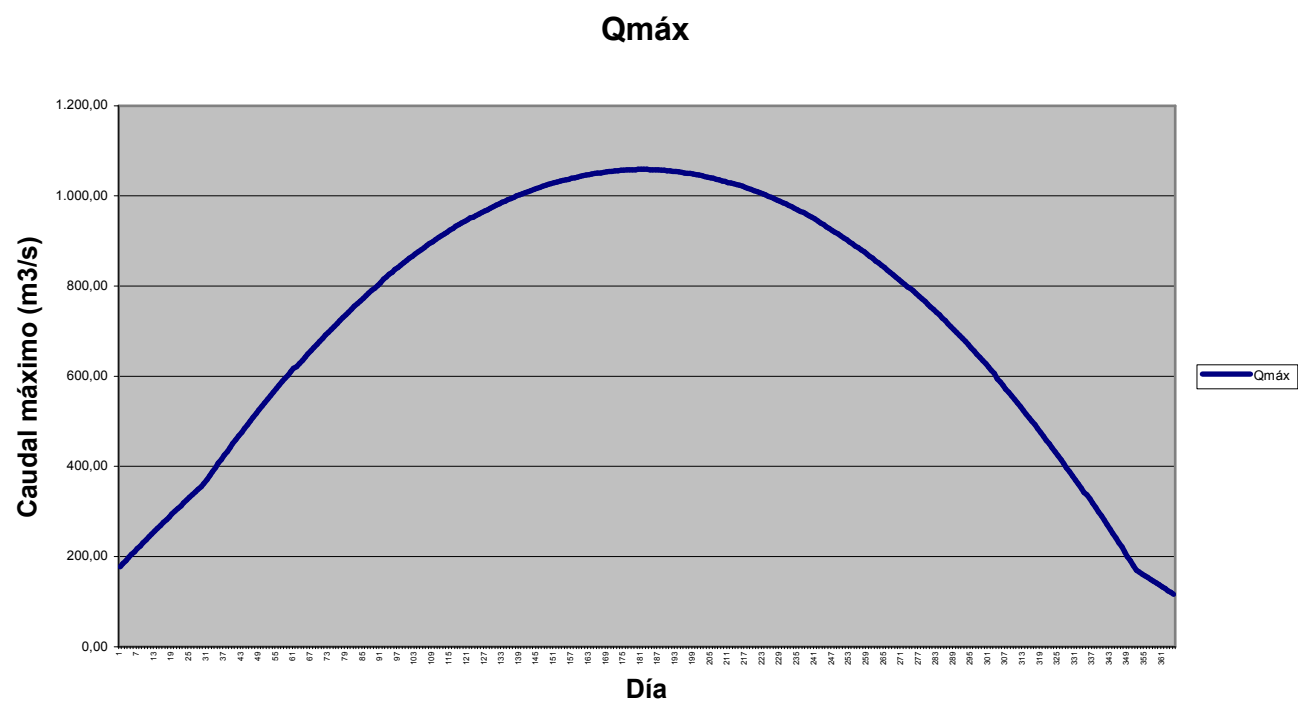
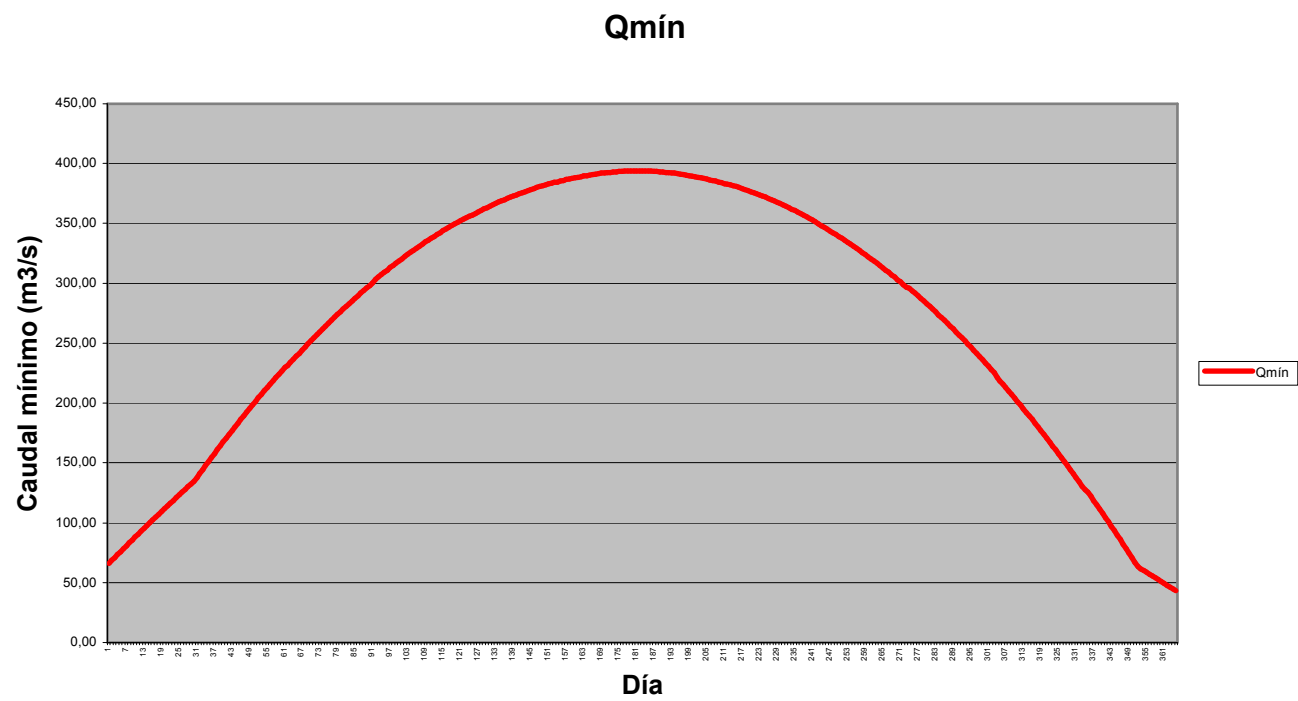


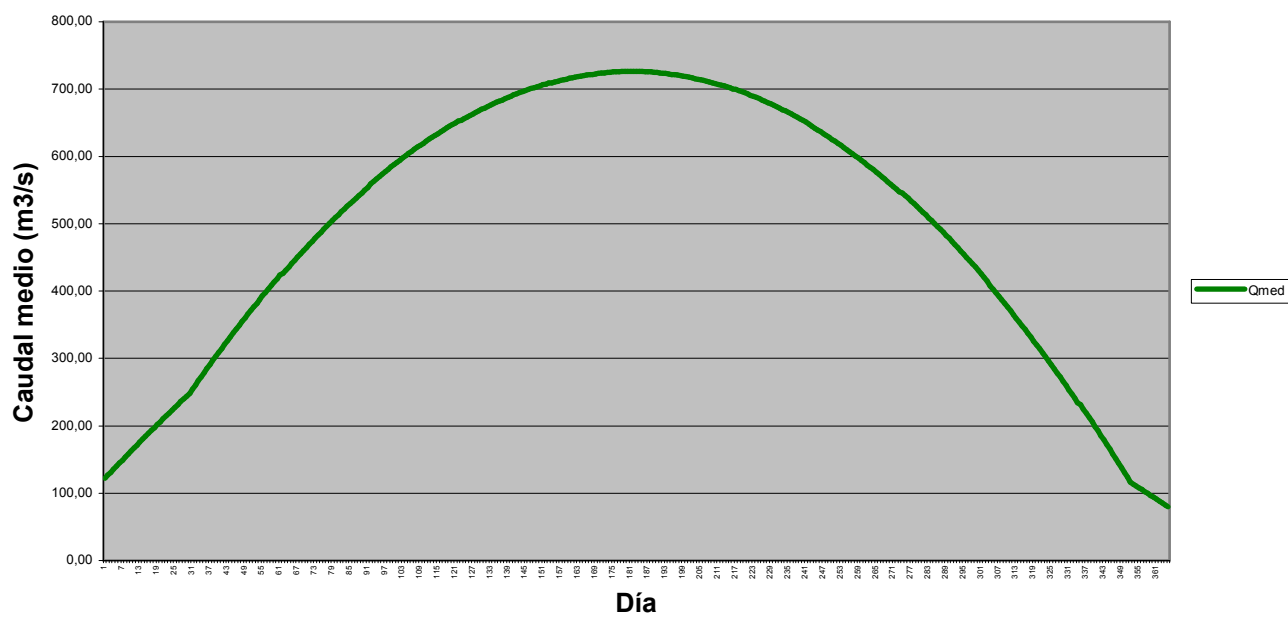
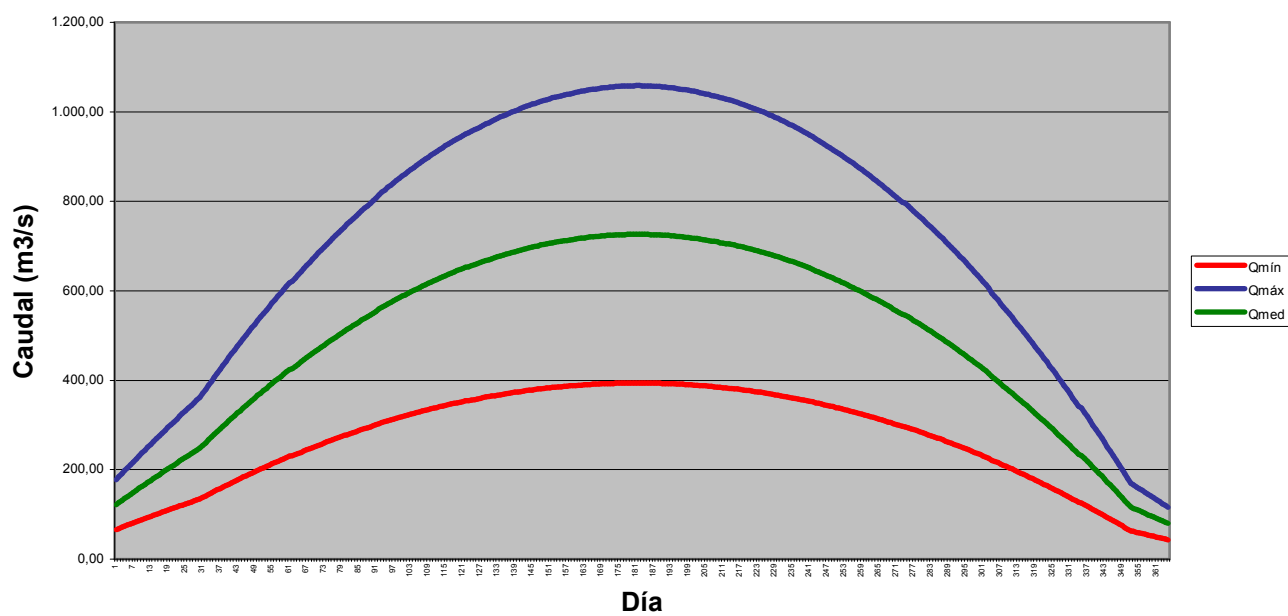
Julio



Agosto





Qmed**Régimen diario de caudales**

5. TABLA DE CAUDALES MENSUALES EN TORTOSA. AÑOS HIDRÁULICOS 1913-14 A 1988-89

ESTACION DE TORTOSA							FORONOMICA Nº 27								
CAUDALES REGISTRADOS EN M3/SEG.															
AÑO	OCT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	MEDIA	M-3	M-3-3
1.913-14	938	966	594	595	690	1000	612	687	611	516	284	327	652		
14-15	207	569	586	1344	1227	1277	1610	2213	1731	550	281	312	992	842	
15-16	570	857	1171	623	1304	2471	1253	1081	520	314	214	203	882	887	813
16-17	218	443	1357	780	1139	1039	1179	1607	921	329	213	225	788	710	760
17-18	213	398	389	752	360	577	1000	671	487	281	186	220	461	684	677
18-19	463	581	547	1002	1807	1203	1463	906	840	321	220	270	802	636	663
19-20	741	1224	861	714	552	1045	822	662	419	304	199	211	646	669	630
20-21	396	460	662	577	498	419	371	1518	996	250	240	335	560	583	592
21-22	302	224	423	708	875	704	1149	830	662	245	189	206	543	524	538
22-23	264	432	235	480	548	913	726	526	390	609	185	306	468	507	496
23-24	203	537	1128	822	540	693	856	484	284	194	181	199	510	456	482
24-25	220	277	474	259	298	496	852	651	498	302	180	182	391	482	485
25-26	205	650	576	573	1217	576	692	895	458	266	193	244	545	518	537
26-27	382	1061	818	757	595	1078	657	712	595	265	194	305	618	610	557
27-28	279	567	1238	856	803	1013	1232	761	649	238	169	178	665	543	575
28-29	207	462	451	502	575	387	107	410	660	168	46	186	347	571	556
29-30	255	639	569	609	802	1415	910	1125	1402	474	135	77	701	553	570
30-31	327	340	1328	656	1252	1497	711	607	337	120	63	98	611	587	548
31-32	211	568	455	282	218	470	395	614	727	929	234	275	448	505	513
32-33	349	380	1177	488	569	966	323	357	505	154	49	151	456	448	471
33-34	282	529	545	679	394	724	750	779	384	83	64	78	441	459	459
34-35	77	404	618	630	702	951	331	767	791	246	102	131	479	471	462
51-52	228	472	271	753	990	651	1114	629	339	218	128	134	494	455	464
52-53	203	505	731	729	678	595	283	191	386	276	66	74	393	466	440
53-54	513	272	437	677	1273	929	425	730	524	171	86	107	512	397	432
54-55	124	168	360	722	703	523	201	120	230	73	81	125	286	433	394
55-56	152	332	422	784	550	869	886	866	666	176	131	190	502	351	379
56-57	154	320	258	232	385	201	114	256	902	158	74	119	264	352	346
57-58	181	148	161	313	468	862	696	293	122	105	31	82	289	335	413
58-59	90	194	701	711	438	802	556	739	467	176	75	467	451	553	525
59-60	656	1086	2168	1272	1652	1407	749	612	707	351	205	161	919	687	668
60-61	1209	1173	1086	1913	1089	449	300	300	434	118	89	130	691	764	694
61-62	360	1060	1040	1110	1026	1343	994	540	366	170	75	112	683	632	653
62-63	250	394	586	1027	576	722	965	326	392	272	394	360	522	563	548
63-64	263	709	903	349	563	841	973	476	484	96	53	89	483	449	495
64-65	270	283	526	659	472	886	426	208	111	102	50	107	342	474	461
65-66	658	825	866	804	946	938	504	627	617	174	80	140	598	460	482
66-67	255	1044	890	518	472	654	658	268	213	127	93	97	441	511	489
67-68	138	789	848	1085	556	561	618	369	415	156	135	251	493	497	504
68-69	255	285	435	473	399	1158	1357	1001	565	318	185	251	557	503	497
AÑO	OCT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	MEDIA	M-3	M-3-3

201

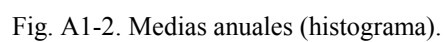
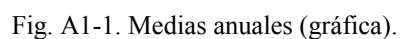
6. TABLA DE CAUDALES MENSUALES EN TORTOSA CORREGIDA CON EL ÍNDICE DE ESTACIONALIDAD. AÑOS HIDRÁULICOS 1913-14 A 1988-89

SERIE DE DATOS CORREGIDA CON EL ÍNDICE DE ESTACIONALIDAD															
AÑO	OCT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	MEDIA	M-3	M-3-3
1.913-14	1538	969	483	459	468	649	456	552	569	1026	973	821	747	-	-
14-15	340	571	476	1037	833	829	1201	1777	1612	1094	962	783	960	843	-
15-16	935	860	952	481	885	1604	934	868	484	624	733	510	822	842	789
16-17	358	444	1103	602	773	674	879	1290	858	654	729	565	744	682	729
17-18	349	399	316	580	244	375	746	539	453	559	637	552	479	664	663
18-19	759	583	445	773	1227	781	1091	728	782	638	753	678	770	641	663
19-20	1215	1228	700	551	375	678	613	532	390	604	682	530	675	684	644
20-21	649	461	538	445	338	272	277	1219	927	497	822	841	607	607	616
21-22	495	225	344	546	594	457	857	667	616	487	647	517	538	558	562
22-23	433	433	191	370	372	593	541	422	363	1211	634	768	528	523	521
23-24	333	539	917	634	367	450	638	389	264	386	620	500	503	484	499
24-25	361	278	385	200	202	322	635	523	464	600	616	457	420	490	503
25-26	336	652	468	442	826	374	516	719	426	529	661	613	547	534	542
26-27	627	1064	665	584	404	700	490	572	554	527	664	766	635	603	558
27-28	458	569	1007	660	545	658	919	611	604	473	579	447	627	537	562
28-29	340	463	367	387	390	251	80	329	615	334	158	467	348	546	532
29-30	418	641	463	470	545	918	679	903	1305	942	462	193	662	512	547
30-31	536	341	1080	506	850	972	530	487	314	239	216	246	526	584	534
31-32	346	570	370	218	148	305	295	493	677	1847	801	690	563	506	518
32-33	572	381	957	376	386	627	241	287	470	306	168	379	429	465	466
33-34	463	531	443	524	268	470	559	626	358	165	219	196	402	426	443
34-35	126	405	503	486	477	617	247	616	737	489	349	329	448	439	432
51-52	374	473	220	581	672	423	831	505	316	433	438	336	467	431	437
52-53	333	506	594	562	460	386	211	153	359	549	226	186	377	441	416
53-54	841	273	355	522	864	603	317	586	488	340	295	269	479	375	408
54-55	203	168	293	557	477	339	150	96	214	145	277	314	270	409	375
55-56	249	333	343	605	373	564	661	695	620	350	449	477	477	342	363
56-57	253	321	210	179	261	130	85	206	840	314	253	299	279	338	337
57-58	297	148	131	241	318	560	519	235	114	209	106	206	257	332	399
58-59	148	195	570	548	297	521	415	593	435	350	257	1172	458	529	511
59-60	1076	1089	1763	981	1122	913	559	491	658	698	702	404	871	673	642
60-61	1983	1176	883	1476	739	291	224	241	404	235	305	326	690	724	676
61-62	590	1063	846	856	697	872	741	434	341	338	257	281	610	630	633
62-63	410	395	476	792	391	469	720	262	365	541	1349	904	590	545	541
63-64	431	711	734	269	382	546	726	382	451	191	182	223	436	447	478
64-65	443	284	428	508	320	575	318	167	103	203	171	269	316	442	442
65-66	1079	827	704	620	642	609	376	503	575	346	274	351	576	437	458
66-67	418	1047	724	400	320	424	491	215	198	253	319	244	421	494	473
67-68	226	791	690	837	377	364	461	296	386	310	462	630	486	488	491
68-69	418	286	354	365	271	752	1012	804	526	632	634	630	557	492	490
69-70	530	344	445	960	633	490	271	233	302	338	322	324	433	491	501
70-71	238	176	212	241	233	216	425	1262	906	740	548	608	484	521	513
71-72	467	377	441	524	966	656	547	537	644	618	753	1225	646	528	517

AÑO	OCT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	MEDIA	M-3	M-3-3
72-73	841	481	344	416	479	334	233	175	529	469	753	404	455	502	492
73-74	331	235	189	201	226	587	688	313	287	537	555	718	406	446	446
74-75	640	505	335	212	380	227	584	382	737	690	462	560	476	389	424
75-76	369	345	354	235	285	228	249	164	176	352	346	329	286	437	426
76-77	239	430	294	564	532	302	183	556	1038	730	983	746	550	453	471
77-78	700	275	290	295	1118	831	574	642	424	443	421	264	523	523	477
78-79	238	200	182	484	1190	447	659	450	841	392	366	522	498	456	455
79-80	671	472	302	369	181	177	207	330	325	358	315	459	347	385	380
80-81	313	226	350	678	246	140	262	271	147	338	322	439	311	300	341
81-82	213	202	149	339	311	384	175	96	144	199	319	372	242	338	334
82-83	302	791	842	492	302	371	424	259	166	416	483	705	463	363	377
83-84	349	264	228	246	350	270	312	475	534	416	483	705	386	430	380
84-85	349	666	433	430	416	316	248	391	292	348	716	705	443	347	359
85-86	138	166	89	123	318	232	316	327	207	217	219	201	213	298	332
86-87	251	262	155	171	361	216	285	125	82	251	349	367	240	351	327
87-88	472	390	464	420	654	375	799	601	680	1024	747	577	600	333	-
88-89	341	255	166	124	69	43	77	153	59	213	250	156	159	-	-
MEDIA	496	496	496	496	496	496	496	496	496	496	496	496	496		
IND. EST.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

 σ
CV
163
33

NOTA: Muchas variables hidráulicas y sobre todo gran parte de las referidas a fenómenos hidrológicos como el caudal de los ríos, vienen influidas predominantemente por las estaciones del año, dándose lugar, de esta forma, a movimientos cíclicos dentro de un mismo periodo anual, incluso en ciclos más cortos. Resulta interesante, en muchas ocasiones, llegar al conocimiento exhaustivo de la serie temporal una vez eliminadas las variaciones estacionales, es decir, de la conducta cuantificable del fenómeno en estudio, cuyos valores “se hubieran observado a lo largo del tiempo si no hubiese existido la influencia estacional”. Pues bien, conocidos los índices de variación estacional, que pueden verse para cada mes en la última fila de la tabla anterior sin corregir, resulta factible obtener la serie de caudales desestacionalizada, con lo que bastará con dividir cada valor de la serie observada por el índice estacional mensual correspondiente.



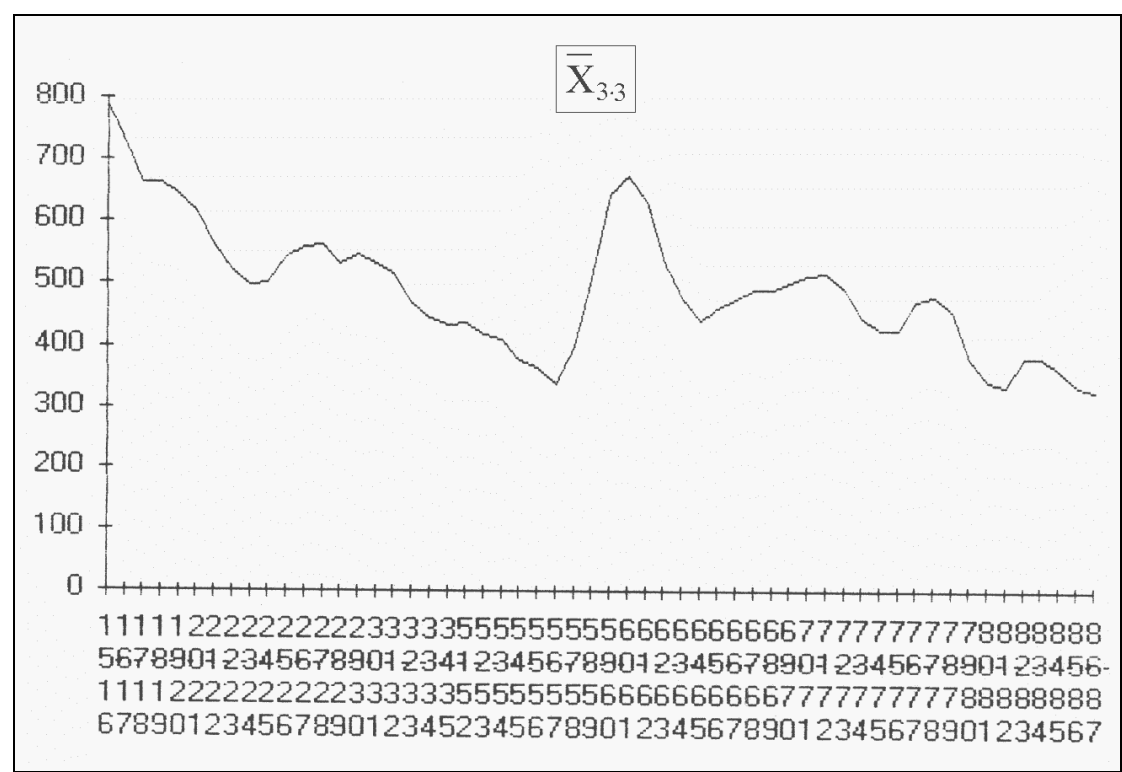


Fig. A1-5. Medias móviles de orden 3·3 (gráfica).

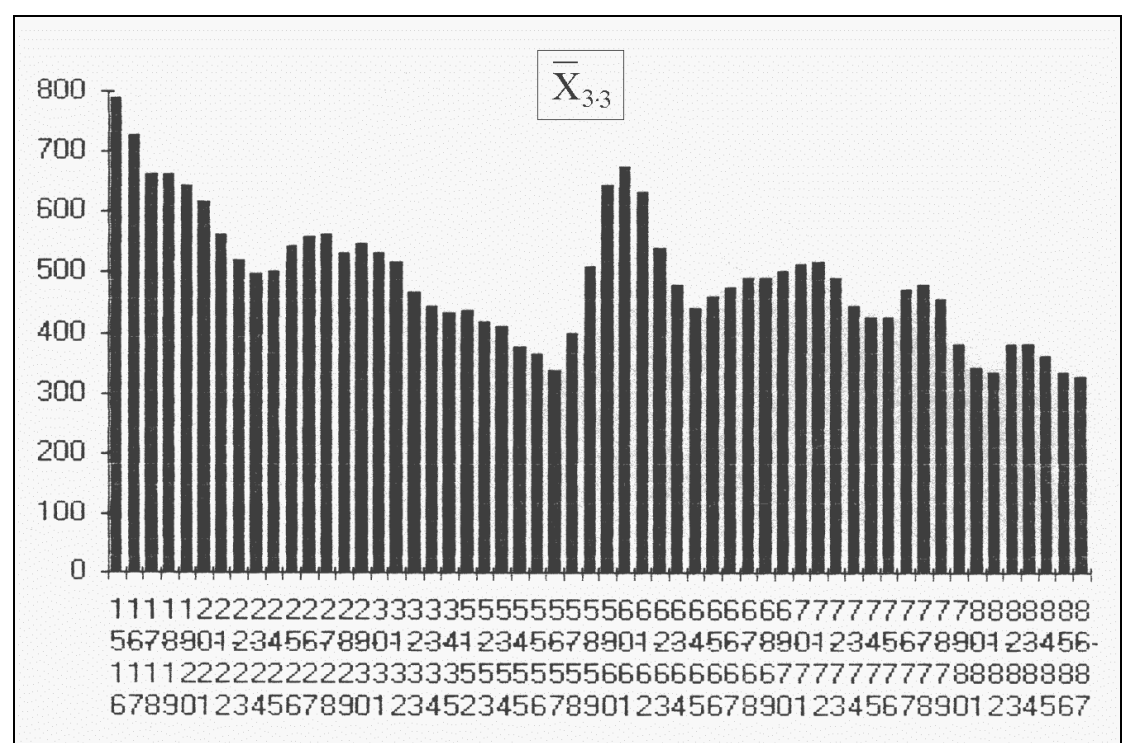


Fig. A1-6. Medias móviles de orden 3·3 (histograma).

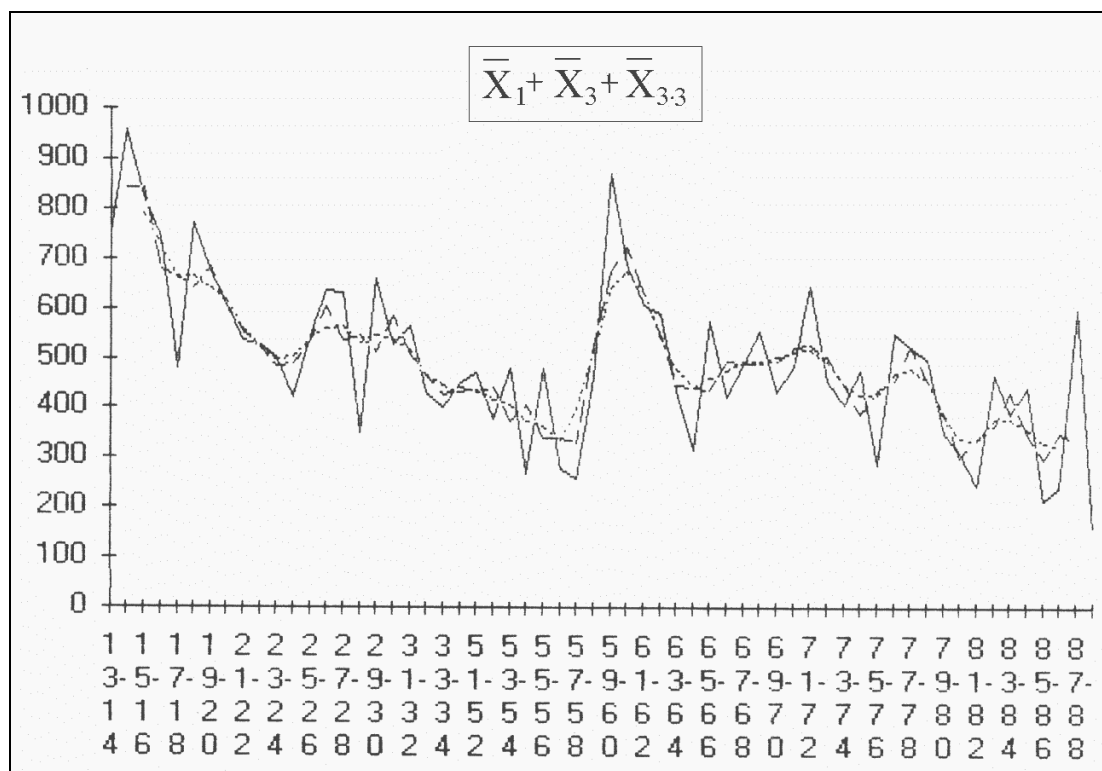


Fig. A1-7. Medias móviles composición (gráfica).

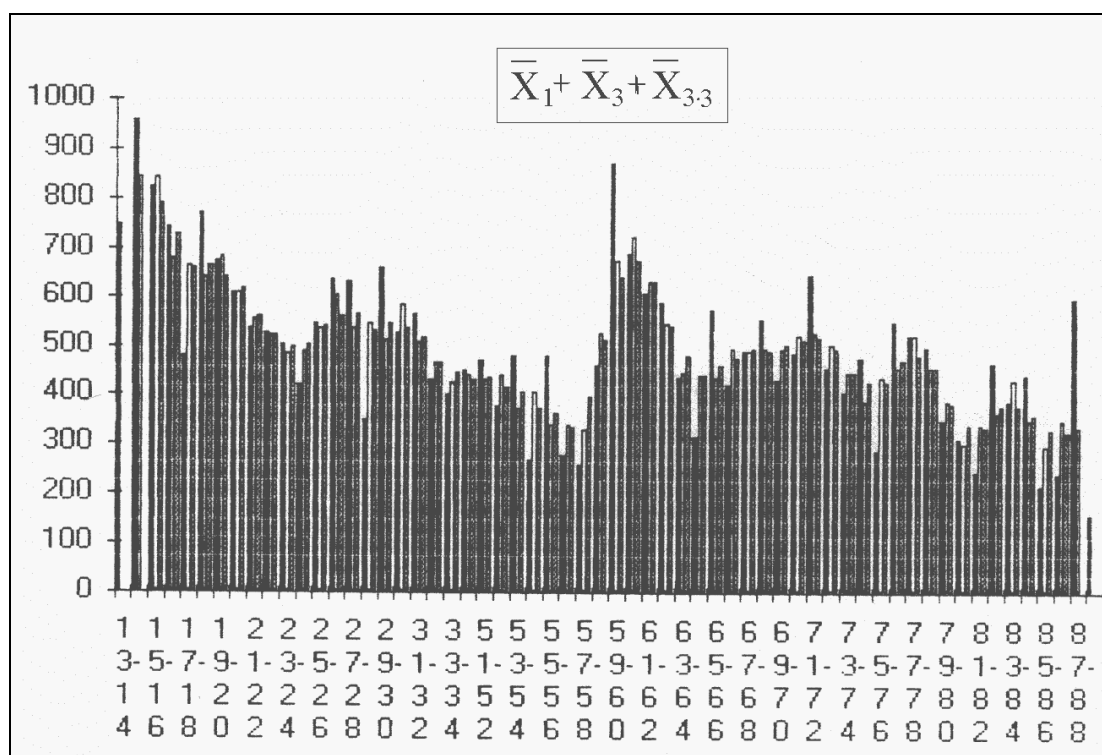


Fig. A1-8. Medias móviles composición (histograma).

8. TABLAS DE CAUDALES DIARIOS Y NIVEL DE LA LÁMINA DE AGUA EN TORTOSA. AÑOS HIDRÁULICOS 1988-89 A 1994-95

ESTACIÓN DE AFORO 27. RIO EBRO A SU PASO POR TORTOSA CAUDALES DIARIOS (m3/s) Y NIVEL DE LA LAMINA DE AGUA (m)																										
1988 - 89																										
AÑO	DIA	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.													
	1	1,21	237	1,34	272	1,32	267	1,35	275	0,87	149	0,58	84	0,54	77	0,85	144	0,62	92	0,49	68	0,60	88	0,48	67	
	2	1,41	292	1,23	242	1,22	239	1,00	181	0,88	151	0,58	84	0,50	70	0,86	146	0,62	92	0,49	68	0,60	88	0,48	67	
	3	1,15	221	1,24	245	1,21	237	1,01	184	0,89	154	0,58	84	0,50	70	0,91	158	0,62	92	0,49	68	0,61	90	0,48	67	
	4	1,14	218	1,29	258	1,18	229	0,97	173	0,89	154	0,53	75	0,71	111	1,24	245	0,62	92	0,55	79	0,61	90	0,48	67	
	5	1,08	202	1,30	261	1,17	226	0,94	166	0,88	151	0,55	79	0,71	111	1,45	304	0,62	92	0,55	79	0,59	86	0,62	92	
	6	1,14	218	1,27	253	1,27	253	1,02	186	0,90	156	0,55	79	0,67	102	1,64	360	0,62	92	0,79	130	0,72	113	0,62	92	
	7	1,21	237	1,30	261	1,16	223	0,99	178	0,87	149	0,61	90	0,67	102	0,98	176	0,51	72	0,78	127	0,72	113	0,57	83	
	8	1,13	215	1,34	272	1,13	215	0,96	171	0,87	149	0,61	90	0,68	105	0,98	176	0,58	84	0,93	163	0,53	75	0,57	83	
	9	1,27	253	1,33	269	1,14	218	1,02	186	0,89	154	0,68	105	0,51	72	1,28	256	0,58	84	0,90	156	0,53	75	0,53	75	
	10	1,19	231	1,35	275	1,17	226	1,05	194	0,68	105	0,68	105	0,51	72	1,26	250	0,49	68	0,99	178	0,55	79	0,50	70	
	11	1,17	226	1,39	286	1,21	237	1,09	204	0,68	105	0,60	88	0,55	79	1,46	306	0,52	74	0,95	168	0,55	79	0,50	70	
	12	1,18	229	1,36	278	1,17	226	1,05	194	0,68	105	0,52	74	0,55	79	1,50	318	0,52	74	0,94	166	0,43	59	0,48	67	
	13	1,19	231	1,34	272	1,23	242	1,06	197	0,54	77	0,52	74	0,51	72	1,50	318	0,58	84	0,74	118	0,57	83	0,48	67	
	14	1,15	221	1,29	258	1,24	245	1,16	223	0,53	75	0,50	70	0,51	72	1,14	218	0,58	84	0,96	171	0,57	83	0,43	59	
	15	1,21	237	1,30	261	1,18	229	1,01	184	0,53	75	0,50	70	0,47	65	1,26	250	0,54	77	0,87	149	0,59	86	0,43	59	
	16	1,25	248	1,30	261	1,27	253	0,98	176	0,57	83	0,53	75	0,45	62	1,09	204	0,54	77	0,73	116	0,59	86	0,50	70	
	17	1,24	245	1,29	258	1,22	239	1,00	181	0,57	83	0,53	75	0,45	62	1,08	202	0,55	79	0,78	127	0,57	83	0,52	74	
	18	1,29	258	1,47	309	1,21	237	1,00	181	0,68	105	0,55	79	0,48	67	1,18	229	0,50	70	0,77	125	0,57	83	0,52	74	
	19	1,22	239	1,31	264	1,29	258	1,11	210	0,61	90	0,58	84	0,48	67	1,12	212	0,53	75	0,81	134	0,60	88	0,51	72	
	20	1,16	223	1,46	306	1,27	253	1,09	204	0,61	90	0,58	84	0,44	60	1,06	197	0,53	75	0,80	132	0,60	88	0,63	94	
	21	1,17	226	1,33	269	1,05	194	1,03	189	0,65	98	0,54	77	0,44	60	1,04	191	0,53	75	0,80	132	0,60	88	0,63	94	
	22	1,11	210	1,33	269	1,03	189	1,02	186	0,65	98	0,54	77	0,41	56	0,99	178	0,55	79	0,59	86	0,64	96	0,63	94	
	23	1,12	212	1,48	312	1,05	194	0,80	132	0,65	98	0,52	74	0,43	59	1,12	212	0,55	79	0,63	94	0,64	96	0,56	81	
	24	1,10	207	1,57	339	1,10	207	0,70	109	0,65	98	0,52	74	0,43	59	1,10	207	0,50	70	0,63	94	0,61	90	0,50	70	
	25	1,10	207	1,34	272	1,05	194	1,00	181	0,70	109	0,51	72	1,14	218	1,04	191	0,48	67	0,66	100	0,61	90	0,50	70	
	26	1,12	212	1,40	289	1,03	189	1,06	197	0,61	90	0,51	72	1,24	245	0,99	178	0,48	67	0,66	100	0,62	92	0,53	75	
	27	1,13	215	1,46	306	1,11	210	1,06	197	0,61	90	0,51	72	1,20	234	0,80	132	0,59	86	0,61	90	0,65	98	0,53	75	
	28	1,16	223	1,38	283	1,06	197	0,92	161	0,57	83	0,57	83	1,02	186	0,80	132	0,59	86	0,61	90	0,65	98	0,56	81	
	29	1,16	223	1,39	286	1,09	204	0,87	149			0,57	83	1,02	186	0,80	88	0,48	67	0,67	102	0,49	68	0,56	81	
	30	1,21	237	1,37	281	1,17	226	0,88	151			0,55	79	1,22	239	0,60	88	0,48	67	0,63	94	0,49	68	0,59	86	
	31	1,24	245			1,16	223	0,88	151			0,55	79			0,60	88			0,63	94	0,63	94			
	Media anual Nivel																									
	Media	229	276	225	225	182		182	112		80	104		205		205		79		116		87		75	148	
	Máx inst.	389	414	382	460	460		460	168		142	430		424		424		197		197		122		149	460	1,95
	Ap (Hm3)	613	715	603	488	488		488	270		215	269		549		549		205		311		233		195	4686	

ESTACIÓN DE AFORO 27. RIO EBRO A SU PASO POR TORTOSA																									
CAUDALES DIARIOS (m3/s) Y NIVEL DE LA LAMINA DE AGUA (m)																									
1989 -90																									
AÑO	DIA	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.												
	1	0,54	77	0,56	81	0,97	173	0,99	178	1,07	199	1,00	181	0,54	77	1,58	342	0,83	139	0,95	168	0,69	107	0,65	98
	2	0,54	77	0,54	77	1,00	181	0,96	171	1,08	202	1,02	186	0,50	70	0,83	139	0,34	142	0,32	137	0,76	112	0,69	107
	3	0,52	74	0,53	75	0,94	166	1,02	186	1,15	221	0,92	161	0,52	74	0,98	176	0,66	100	0,72	113	0,77	125	0,66	100
	4	0,52	74	0,58	84	0,94	166	1,02	186	1,04	191	0,72	113	0,51	72	1,08	202	0,74	118	0,65	98	0,81	134	0,70	109
	5	0,52	74	0,58	84	0,94	166	0,95	168	1,02	186	0,71	111	0,50	70	1,00	181	0,67	102	0,63	94	0,85	144	0,67	102
	6	0,52	74	0,59	86	0,92	161	0,93	163	1,11	210	0,60	88	0,52	74	0,69	107	0,59	86	0,53	75	0,71	111	0,68	105
	7	0,56	81	0,61	90	0,95	168	0,92	161	1,13	215	0,67	102	0,55	79	0,73	116	0,67	102	0,63	94	0,68	105	0,68	105
	8	0,52	74	0,60	88	0,95	168	0,92	161	1,12	212	0,68	105	0,56	81	0,73	116	0,81	134	0,54	77	0,65	98	0,68	105
	9	0,50	70	0,60	88	0,96	171	0,90	156	1,10	207	0,72	113	0,58	84	0,71	111	0,77	125	0,31	134	0,67	102	0,68	105
	10	0,52	74	0,59	86	0,96	171	0,93	163	0,97	173	0,59	86	0,69	107	0,74	118	0,55	79	0,61	90	0,66	100	0,68	105
	11	0,56	81	0,59	86	0,98	176	0,90	156	0,96	171	0,68	105	0,75	120	0,82	137	0,60	88	0,62	92	0,74	118	0,71	111
	12	0,52	74	0,60	55	0,98	176	0,88	151	0,98	176	0,50	70	0,73	116	0,79	130	0,57	83	0,60	88	0,66	100	0,68	105
	13	0,50	70	0,58	84	1,02	186	0,88	151	0,98	176	0,49	68	0,77	125	0,77	125	0,73	116	0,51	72	0,65	98	0,71	111
	14	0,50	70	0,64	96	1,00	181	0,90	156	1,00	181	0,49	68	0,73	116	0,83	139	0,89	154	0,58	84	0,67	102	0,71	111
	15	0,50	70	0,71	111	0,99	178	0,97	173	1,04	191	0,49	68	0,72	113	0,74	118	1,01	184	0,56	81	0,66	100	0,72	113
	16	0,50	70	0,94	166	1,00	181	1,06	197	1,07	199	0,48	67	0,70	109	0,76	122	1,78	405	0,68	105	0,63	94	0,69	107
	17	0,48	67	0,95	168	1,01	184	1,05	194	1,04	191	0,49	68	0,69	107	0,82	137	1,00	289	0,72	113	0,69	107	0,70	109
	18	0,50	70	1,07	199	1,04	191	1,10	207	0,96	171	0,48	67	0,69	107	0,78	127	1,09	204	0,79	130	0,63	94	0,68	105
	19	0,48	67	0,90	156	1,03	189	1,11	210	1,06	197	0,49	68	0,10	109	0,81	114	1,24	245	0,78	127	0,68	105	0,65	98
	20	0,46	64	0,90	156	0,98	176	1,04	191	1,09	204	0,50	70	0,70	109	0,80	132	1,63	357	0,73	116	0,63	94	0,74	118
	21	0,45	62	0,91	158	0,98	176	0,99	178	1,12	212	0,49	68	0,73	116	0,81	134	1,19	231	0,67	102	0,64	96	0,69	107
	22	0,43	59	0,92	161	0,91	158	1,06	197	1,08	202	0,48	67	0,69	107	0,68	105	0,98	176	0,63	94	0,60	88	0,68	105
	23	0,45	62	1,12	212	0,86	146	1,10	207	1,12	212	0,49	68	0,68	105	0,67	102	1,01	184	0,68	105	0,61	90	0,7	109
	24	0,45	62	0,98	176	0,96	171	1,08	202	1,02	186	0,52	74	0,89	154	0,78	127	1,01	184	0,68	105	0,61	90	0,70	109
	25	0,44	60	0,94	166	0,96	171	1,06	197	1,00	181	0,58	84	2,32	586	0,35	144	0,81	134	0,70	109	0,62	92	0,70	109
	26	0,46	64	0,96	171	0,96	171	1,09	204	0,94	166	0,47	65	2,20	544	0,85	144	0,89	154	0,70	109	0,64	96	0,70	109
	27	0,51	72	0,99	178	1,16	223	1,08	202	1,04	191	0,70	109	2,05	493	0,81	134	0,30	132	0,73	116	0,60	88	0,66	100
	28	0,55	79	0,96	171	1,19	231	1,02	186	1,02	186	0,70	109	1,94	456	0,68	105	0,79	130	0,75	120	0,74	118	0,65	98
	29	0,52	74	0,98	176	1,21	237	1,02	186			0,70	109	1,69	376	0,69	107	0,79	130	0,79	130	0,65	98	0,68	105
	30	0,52	74	0,98	176	1,22	239	1,10	207			0,67	102	0,85	144	1,03	189	0,88	151	0,74	118	0,61	90	0,70	109
	31	0,55	79			1,12	212	1,10	207			0,60	88			0,71	111			0,69	107	0,62	92		
	Media anual Nivel																								
Media	71		130		182		193		167		139		162		107		103		162		107		103		106
Máx inst.	111		283		324		289		733		520		558		242		191		558		242		191		178
Ap (Hm3)	190		337		487		467		432		372		421		286		277		421		286		277		275

ESTACIÓN DE AFORO 27. RIO EBRO A SU PASO POR TORTOSA CAUDALES DIARIOS (m3/s) Y NIVEL DE LA LAMINA DE AGUA (m)																									
1990 -91																									
AÑO	DIA	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.												
	1	0,75	120	0,96	171	0,90	156	1,26	250	1,59	345	1,37	281	2,18	537	2,36	601	1,41	292	0,58	84	1,01	184	0,82	137
	2	0,85	144	0,85	144	0,93	163	1,45	304	1,33	269	1,28	256	2,07	500	2,32	586	1,29	258	0,58	84	0,99	178	0,82	137
	3	0,83	139	0,88	151	0,92	161	2,09	507	1,34	272	1,09	204	2,20	544	2,52	663	1,29	258	0,59	86	0,99	178	0,80	132
	4	0,80	132	0,88	151	0,97	173	2,03	486	1,32	267	1,27	253	2,54	671	3,01	867	1,15	221	0,59	86	1,00	181	0,79	130
	5	0,69	107	0,86	146	0,91	158	1,95	460	1,33	269	1,34	272	2,52	663	3,10	907	1,18	229	0,59	86	1,01	184	0,79	130
	6	0,68	105	0,88	151	0,96	171	1,66	367	1,38	283	1,31	264	2,20	544	3,10	907	1,23	242	0,59	86	1,02	186	0,80	132
	7	0,73	116	0,91	158	0,92	161	1,40	289	1,47	309	1,48	312	1,77	401	3,19	948	1,35	275	0,58	84	1,04	191	0,79	130
	8	0,84	142	0,89	154	0,81	134	1,58	342	1,52	324	1,50	318	1,77	401	3,62	1154	1,13	215	0,58	84	1,02	186	0,80	132
	9	0,83	139	0,92	161	0,98	176	1,41	292	1,42	295	2,11	513	1,68	373	3,64	1165	1,04	191	0,58	84	0,98	176	0,82	137
	10	0,94	166	0,86	146	0,88	151	1,48	312	1,23	242	2,04	490	2,00	476	3,78	1238	1,07	199	0,57	83	0,98	176	0,79	130
	11	0,92	161	0,88	151	1,04	191	1,53	327	1,36	278	1,69	376	1,65	364	3,63	1160	1,00	181	0,58	84	1,00	181	0,79	130
	12	0,97	173	0,89	154	1,52	324	1,62	354	1,43	298	1,86	430	1,84	424	3,64	1165	0,82	137	0,60	88	0,97	173	0,82	137
	13	0,85	144	1,03	189	1,45	304	1,61	351	1,41	292	1,92	450	1,64	360	3,56	1125	0,74	118	0,60	88	0,96	171	0,81	134
	14	0,80	132	1,04	191	1,47	309	1,59	345	1,4	289	1,80	411	1,77	401	3,00	862	0,74	118	0,60	88	0,93	163	0,73	127
	15	0,84	142	0,98	176	1,55	333	1,63	357	1,48	312	1,93	453	2,24	558	3,01	867	0,96	171	0,61	90	0,94	166	0,77	125
	16	0,88	151	0,95	168	1,44	301	1,68	373	1,46	306	1,97	466	2,68	725	2,36	601	0,70	109	0,72	113	0,90	156	0,76	122
	17	0,90	156	0,94	166	1,47	309	1,60	348	1,32	267	1,87	433	3,32	1010	2,52	663	0,68	105	0,80	132	0,93	163	0,75	120
	18	0,86	146	0,85	144	1,71	382	1,48	312	1,25	248	1,96	430	3,73	1238	2,56	678	0,66	100	0,98	176	0,90	156	0,77	125
	19	0,92	161	0,83	139	1,87	433	1,63	357	1,28	256	1,72	385	3,26	981	2,21	548	0,69	107	1,05	194	0,92	161	0,76	122
	20	0,87	149	0,84	142	1,81	414	1,62	354	1,25	248	1,72	365	3,59	1139	1,85	427	0,69	107	1,05	194	0,96	171	0,77	125
	21	0,91	158	0,89	154	1,66	367	1,65	364	1,36	278	1,67	370	2,84	790	2,41	620	0,67	102	1,05	194	0,95	168	0,78	127
	22	1,01	184	0,90	156	1,45	304	1,59	345	1,45	304	1,88	437	2,65	714	2,42	624	0,60	88	1,05	194	0,98	176	0,35	144
	23	1,09	204	0,87	149	1,45	304	1,65	364	1,44	301	1,84	424	2,64	710	2,07	500	0,60	88	1,01	184	0,92	161	0,79	130
	24	1,15	221	0,90	156	1,17	226	1,63	357	1,47	253	2,08	503	2,63	706	1,68	373	0,59	86	0,95	168	0,86	146	0,78	127
	25	1,24	245	0,94	166	1,31	164	1,41	292	1,13	215	2,28	572	2,62	702	1,60	348	0,59	86	0,93	163	0,85	144	0,81	142
	26	0,96	171	0,92	161	1,10	207	1,50	318	1,19	231	3,31	1005	2,60	694	1,28	256	0,59	86	0,92	161	0,87	119	0,83	139
	27	0,94	166	0,92	161	1,16	223	1,51	321	1,47	309	3,30	1000	2,63	706	1,44	301	0,58	84	0,92	161	0,86	144	0,80	132
	28	0,96	171	0,89	154	1,45	354	1,48	312	1,45	304	3,11	912	2,61	698	1,20	234	0,58	84	0,93	163	0,82	137	0,73	116
	29	1,01	184	0,88	151	1,78	405	1,69	376		3,20	952	2,60	694	1,16	223	0,58	84	1,01	184	0,34	142	0,71	111	
	30	1,01	184	0,84	142	1,47	309	1,63	357		2,80	772	2,58	686	1,18	229	0,58	84	0,99	178	0,83	139	0,65	98	
	31	1,25	248			1,34	272	1,51	341		2,25	562			1,36	278			0,99	178	0,86	144			
	Media anual Nivel																								
Media	160		157		261		349		281		480		647		681		150		130		165		129	299	
Máx inst.	336		301		601		671		401				1311		1280		417		207		212		168	1311	3,92
Ap (Hm3)	428		406		699		934		679		1286		1677		1824		389		348		443		333	9446	

ESTACIÓN DE AFORO 27. RIO EBRO A SU PASO POR TORTOSA CAUDALES DIARIOS (m3/s) Y NIVEL DE LA LAMINA DE AGUA (m)																										
1991 -92																										
AÑO	DIA	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.													
	1	0.61	90	0.60	88	1.89	440	0.82	154	0.79	148	0.48	88	0.73	135	1.02	200	0.92	177	1.37	284	0.72	133	0.50	91	
	2	0.61	90	0.60	88	1.76	398	0.94	181	0.80	150	0.46	84	0.73	135	0.78	146	1.03	202	1.46	307	0.72	133	0.45	83	
	3	0.64	96	0.60	88	1.82	417	1.04	204	0.76	142	0.46	84	0.84	159	0.92	177	1.39	289	1.70	371	0.72	133	0.45	83	
	4	0.61	90	0.60	88	2.07	500	0.88	168	0.73	135	0.46	84	1.50	317	1.32	271	1.59	341	2.16	506	0.72	133	0.45	83	
	5	0.62	92	0.60	88	2.10	510	0.88	168	0.73	135	0.45	83	1.72	376	1.10	218	1.15	230	1.92	433	0.72	133	0.45	83	
	6	0.60	88	0.60	88	1.89	424	0.80	150	0.74	137	0.43	79	1.86	415	1.30	266	0.82	154	1.42	296	0.72	133	0.46	84	
	7	0.63	94	0.60	88	1.50	317	0.89	170	0.76	142	0.42	77	2.58	637	1.36	281	1.13	225	1.34	276	0.72	133	0.52	95	
	8	0.68	105	0.59	86	1.48	312	0.92	177	0.74	137	0.39	72	2.54	624	1.41	294	0.90	172	1.45	304	0.73	135	0.64	117	
	9	0.66	100	0.60	88	1.48	312	0.64	117	0.76	142	0.37	69	2.30	549	1.29	264	0.86	163	1.42	296	0.76	142	0.71	131	
	10	0.70	109	0.71	111	1.68	366	0.63	115	0.75	140	0.37	69	2.90	744	1.10	218	1.36	281	1.30	266	0.68	125	0.67	123	
	11	0.76	122	0.60	88	1.74	382	0.78	146	0.76	142	0.34	64	3.13	848	1.02	200	1.62	349	1.28	261	0.68	125	0.64	117	
	12	0.67	102	0.58	84	1.60	344	0.74	137	0.72	133	0.36	67	2.76	694	1.36	281	1.40	291	0.98	190	0.68	125	0.90	172	
	13	0.74	118	0.60	88	1.41	294	0.72	133	0.70	129	0.31	67	2.21	521	1.22	247	1.61	347	1.08	213	0.66	121	0.69	127	
	14	0.70	109	0.59	86	1.40	291	0.64	117	0.70	129	0.36	67	2.28	543	0.79	148	1.33	274	0.98	190	0.64	117	0.73	135	
	15	0.68	105	0.62	92	1.24	252	0.70	129	0.65	119	0.36	67	2.24	530	0.70	129	1.18	237	1.06	209	0.66	121	0.79	148	
	16	0.72	113	0.59	86	1.12	223	0.67	123	0.58	105	0.36	67	2.40	580	0.68	125	1.32	271	0.85	161	0.66	121	0.75	140	
	17	0.63	105	0.57	83	1.28	261	0.80	150	0.58	105	0.36	67	1.96	445	0.68	125	1.56	333	0.86	163	0.64	117	0.80	150	
	18	0.62	92	0.59	86	1.16	232	0.76	142	0.58	105	0.60	109	1.42	296	0.70	129	1.50	317	0.80	150	0.64	117	0.72	133	
	19	0.59	86	0.64	96	1.33	274	0.68	125	0.64	117	0.64	117	1.64	355	0.90	172	1.60	344	0.86	163	0.64	117	0.72	133	
	20	0.59	86	0.62	92	0.85	161	0.72	133	0.63	115	0.64	117	2.42	586	0.96	186	1.82	404	0.92	177	0.66	121	0.64	117	
	21	0.59	86	0.66	100	0.86	163	0.74	137	0.58	105	0.67	123	2.36	568	0.86	163	1.75	385	0.97	188	0.67	123	0.68	125	
	22	0.61	90	0.98	176	0.85	161	0.76	142	0.58	105	0.65	119	2.40	580	0.74	137	1.35	279	0.82	154	0.66	121	0.82	154	
	23	0.61	90	1.48	312	0.70	129	0.80	150	0.58	105	0.66	121	1.90	427	0.73	135	1.73	379	0.74	137	0.65	119	1.05	207	
	24	0.60	88	1.56	336	0.87	165	0.80	150	0.58	105	0.71	131	1.62	349	0.70	129	1.60	344	0.76	142	0.64	117	0.92	177	
	25	0.60	88	1.61	351	0.70	129	0.78	146	0.72	133	0.74	137	1.51	320	0.66	121	1.88	421	0.76	142	0.62	113	0.91	174	
	26	0.68	105	1.84	424	0.74	137	0.72	133	0.64	117	0.70	129	1.41	294	0.66	121	2.07	478	0.74	137	0.62	113	1.05	207	
	27	0.61	90	1.52	324	0.74	137	0.80	150	0.57	104	0.68	125	1.17	235	0.68	125	2.06	475	0.72	133	0.62	113	0.99	193	
	28	0.60	88	1.50	318	0.86	163	0.78	146	0.57	104	0.68	125	1.18	237	0.72	133	1.84	410	0.72	133	0.66	121	1.16	232	
	29	0.60	88	1.75	395	0.98	190	0.76	142	0.53	96	0.73	135	1.06	209	0.72	133	1.44	301	0.72	133	0.64	117	1.29	264	
	30	0.60	88	1.95	460	0.80	150	0.78	146			0.81	152	1.08	213	0.65	119	1.26	256	0.72	133	0.60	109	1.43	299	
	31	0.60	88			0.89	170	0.72	133			0.82	154			0.67	123			0.72	133	0.62	113			
	Media	96		166		271		146		124		98		431		178		304		219		123		146	192	
	Máx inst.	142		537		616		291		163		172		858		352		599		593		163		322	858	3.15
	Ap (Hm3)	258		430		726		390		310		264		1116		476		789		586		330		378	6053	

ESTACIÓN DE AFORO 27. RIO EBRO A SU PASO POR TORTOSA CAUDALES DIARIOS (m3/s) Y NIVEL DE LA LAMINA DE AGUA (m)																										
AÑO	1992 -93																									
	DIA	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.													
1	1,23	249	4,04	1344	2,08	481	2,07	478	1,19	240	0,68	125	1,14	228	1,00	195	1,81	401	0,65	98	0,81	134	0,76	122		
2	1,26	256	4,61	1693	2,12	494	1,76	387	1,15	230	0,76	142	1,12	223	0,89	170	1,75	385	0,65	98	0,85	144	0,76	122		
3	1,46	307	4,36	1536	1,92	433	1,97	448	1,12	223	0,77	144	1,16	232	0,79	148	1,74	382	0,62	92	0,85	144	0,76	122		
4	1,45	304	4,13	1398	1,95	442	1,98	451	1,15	230	0,81	152	1,19	240	0,91	174	1,63	352	0,66	100	0,85	144	0,80	132		
5	1,45	304	3,22	894	1,86	415	2,11	491	1,15	230	0,78	146	1,16	232	1,27	259	1,63	352	0,66	100	0,85	144	0,76	122		
6	1,76	387	2,91	747	1,85	413	1,69	368	1,23	249	0,75	140	1,19	240	1,14	278	1,32	271	0,61	90	0,91	158	0,80	132		
7	2,72	681	3,02	790	1,51	320	1,42	296	1,11	220	0,79	148	1,14	228	1,24	252	1,21	244	0,57	83	0,84	142	0,82	137		
8	3,14	853	3,11	837	2,06	475	1,70	371	1,13	225	0,70	129	1,10	218	1,24	252	1,19	240	0,72	113	0,84	142	0,82	137		
9	3,34	957	3,03	796	2,68	669	1,53	325	1,10	218	0,94	181	1,10	218	1,26	256	0,89	170	0,64	96	0,80	132	0,86	146		
10	3,18	874	2,64	656	3,59	1090	1,28	261	1,12	223	1,20	242	1,08	213	1,24	252	0,93	179	0,66	100	0,80	132	0,76	122		
11	2,28	543	2,61	646	3,98	1309	1,39	289	1,09	216	1,52	322	1,08	213	1,25	254	0,73	135	0,61	90	0,80	132	0,76	122		
12	2,18	512	2,61	646	4,43	1578	1,56	333	1,08	213	1,30	266	1,11	220	1,28	261	0,76	142	0,62	92	0,80	132	0,82	137		
13	2,29	546	2,62	649	4,73	1772	1,32	271	0,82	154	1,42	296	1,12	223	1,42	296	0,65	119	0,81	134	0,81	134	0,76	122		
14	2,40	680	2,58	637	4,71	1759	1,40	291	0,64	117	1,29	264	1,08	213	1,60	344	0,74	137	0,81	134	0,84	142	0,74	118		
15	2,62	649	2,63	653	3,84	1230	1,27	259	0,72	133	1,36	281	1,06	209	1,76	387	0,84	159	0,83	139	0,82	137	0,74	118		
16	2,66	662	2,65	659	3,24	902	1,16	232	0,63	115	1,43	299	1,04	204	1,72	376	0,87	165	0,82	137	0,82	137	0,72	113		
17	2,55	627	2,63	653	3,21	886	1,13	225	0,63	115	1,17	235	1,03	202	1,67	363	1,06	209	0,81	134	0,80	132	0,74	118		
18	2,63	653	2,65	659	2,74	630	1,17	235	0,65	119	1,12	223	1,04	204	1,72	376	0,72	113	0,80	132	0,78	127	0,78	127		
19	2,65	659	2,64	656	2,92	729	1,13	225	0,63	115	1,29	264	1,02	200	1,68	366	0,68	105	0,64	96	0,76	122	0,76	122		
20	2,64	656	2,65	659	2,89	712	1,13	225	0,64	117	1,38	286	1,02	200	1,59	341	0,68	105	0,62	92	0,76	122	0,76	122		
21	2,62	649	2,67	665	2,93	735	1,13	225	0,64	117	1,28	261	1,02	200	1,60	344	0,68	105	0,61	90	0,78	127	0,76	122		
22	2,62	649	2,68	669	2,98	764	1,14	228	0,63	115	1,25	254	0,82	154	1,72	376	0,68	105	0,76	122	0,78	127	0,80	132		
23	2,61	646	2,69	672	2,78	650	1,11	220	0,68	125	1,18	237	0,82	154	1,69	368	0,67	102	0,79	130	0,80	132	0,82	137		
24	2,61	646	2,62	649	2,86	695	1,12	223	0,70	129	1,16	232	0,84	159	1,41	294	0,64	96	0,80	132	0,84	142	0,76	122		
25	2,60	643	2,66	662	3,01	780	1,12	223	0,65	119	1,16	232	0,85	161	1,64	355	0,62	92	0,81	134	0,80	132	0,88	151		
26	2,68	669	2,67	665	2,95	746	1,10	218	0,64	117	1,14	228	0,85	161	1,66	360	0,61	90	0,81	134	0,66	100	0,80	132		
27	2,75	691	2,67	665	2,87	700	1,13	225	0,68	125	1,16	232	0,90	172	1,73	379	0,61	90	0,79	130	0,76	122	0,74	118		
28	2,77	697	2,68	669	2,85	689	1,13	225	0,64	117	1,23	249	1,18	237	2,11	491	0,66	100	0,80	132	0,76	122	0,72	113		
29	3,20	884	2,67	665	2,58	550	1,16	232			1,22	247	1,20	242	2,18	512	0,65	98	0,80	132	0,76	122	0,72	113		
30	3,23	900	2,50	612	2,49	505	1,17	235			1,16	232	1,21	244	2,04	469	0,65	98	0,81	134	0,76	122	0,74	118		
31	3,71	1158		2,41	2,44	465	1,21	244			1,16	232			1,72	376		0,81	0,81	134	0,76	122				
Media		629		793		775		289		167		223		208		319		178		115		132		126	330	
Máx inst.		1264		1778		1805		669		333		421		256		552		410		151		191		245	1805	4,78
Ap (l/m3)		1684		2056		2075		774		403		598		540		853		461		307		355		326	10432	

ESTACIÓN DE AFORO 27. RIO EBRO A SU PASO POR TORTOSA CAUDALES DIARIOS (m3/s) Y NIVEL DE LA LAMINA DE AGUA (m)																									
AÑO		1993 -94																							
DIA	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.													
1	0,79	130	1,65	364	0,96	171	3,93	1316	2,39	577	1,95	442	0,79	148	1,10	186	1,35	254	0,69	89	0,69	89	0,69	89	
2	0,76	122	1,68	373	0,96	171	3,31	941	2,22	524	1,88	421	0,61	111	0,98	155	1,25	227	0,70	91	0,72	95	0,63	78	
3	0,66	100	1,62	354	1,02	186	3,20	884	2,30	549	1,90	427	0,50	91	1,15	200	1,23	221	0,69	89	0,72	95	0,59	71	
4	0,70	109	1,65	364	1,00	181	3,03	796	2,21	521	1,74	382	0,51	93	1,14	197	1,13	194	0,69	89	0,70	91	0,63	78	
5	0,75	120	1,60	348	0,97	173	2,94	758	2,16	506	1,59	341	0,61	111	0,91	138	1,09	183	0,68	87	0,70	91	0,60	73	
6	0,74	118	1,78	405	0,84	142	2,88	736	1,61	347	1,45	304	0,92	177	0,86	125	1,16	202	0,79	109	0,66	84	0,60	73	
7	0,74	118	1,70	379	0,90	156	3,19	879	1,80	398	1,52	322	1,22	247	0,89	133	1,12	191	0,70	91	0,69	89	0,63	78	
8	0,73	116	1,63	357	1,00	181	3,10	832	1,99	424	1,72	376	1,18	237	0,87	128	1,30	240	0,64	80	0,74	99	0,64	80	
9	0,71	111	1,76	398	1,00	181	3,14	853	1,99	454	1,66	360	1,67	363	0,86	125	1,15	200	0,84	121	0,78	107	0,61	75	
10	0,74	118	1,84	424	1,28	256	3,22	894	2,21	521	1,68	366	1,55	331	0,87	128	0,99	158	0,78	107	0,72	95	0,63	78	
11	0,80	132	1,73	389	1,19	231	3,37	972	2,20	518	1,66	360	1,69	368	0,98	155	0,95	148	0,58	70	0,68	87	0,63	78	
12	0,97	173	1,73	389	1,09	204	3,40	988	2,22	524	1,56	333	2,63	653	1,21	216	0,73	97	0,62	77	0,66	84	0,65	82	
13	0,94	166	1,83	421	1,20	234	3,17	868	2,18	512	1,53	325	2,07	465	1,18	208	0,75	101	0,70	91	0,73	97	0,67	86	
14	1,22	239	1,90	443	1,38	283	3,16	863	2,24	530	1,63	352	2,13	487	1,10	186	0,73	97	0,55	65	0,72	95	0,64	80	
15	1,36	278	1,87	433	1,39	286	3,17	868	2,55	627	1,42	296	2,13	487	1,24	224	0,63	78	0,49	56	0,70	91	0,58	70	
16	1,44	301	1,68	373	1,34	272	3,03	796	2,15	503	1,37	284	2,01	444	0,96	150	0,60	73	0,46	51	0,72	95	0,56	67	
17	1,29	258	1,72	385	1,34	272	3,09	827	2,28	543	1,17	235	1,58	316	1,20	213	0,76	103	0,47	53	0,71	93	0,54	63	
18	1,22	239	1,78	405	1,10	207	3,26	915	2,48	605	1,29	264	1,56	310	1,05	173	0,70	91	0,49	56	0,66	84	0,52	60	
19	1,23	242	1,59	345	1,12	212	3,08	822	2,40	580	1,46	307	1,63	329	1,24	224	0,63	78	0,51	59	0,66	84	0,53	62	
20	1,15	221	1,59	345	1,18	229	2,99	776	2,13	497	1,03	202	1,87	399	1,14	197	0,76	103	0,61	75	0,66	84	0,59	71	
21	1,41	292	1,54	330	1,14	218	3,17	868	1,90	427	1,31	269	1,77	369	1,25	227	0,84	121	0,64	80	0,68	87	0,68	87	
22	1,40	289	1,48	312	1,00	181	3,20	884	2,06	475	1,17	235	1,65	335	1,18	208	0,77	105	0,70	91	0,68	87	0,73	97	
23	1,40	289	1,45	304	1,00	181	3,18	874	2,18	512	0,81	152	1,68	343	1,12	191	0,76	103	0,67	86	0,68	87	0,81	113	
24	1,45	304	1,29	258	0,89	154	3,02	790	2,11	491	0,74	137	1,61	324	1,17	205	0,77	105	0,67	86	0,67	86	0,84	121	
25	1,40	289	1,34	272	0,85	144	2,34	561	1,96	445	0,69	127	1,31	243	1,12	191	0,78	107	0,68	87	0,65	82	0,96	150	
26	1,48	312	1,29	258	0,83	139	2,24	530	1,97	448	0,70	129	1,93	418	1,61	324	0,74	99	0,68	87	0,64	80	0,73	97	
27	1,62	354	1,11	210	1,69	376	2,11	491	1,79	395	0,77	144	1,66	338	1,66	338	0,68	87	0,67	86	0,63	78	0,65	82	
28	1,68	373	1,30	261	2,71	737	2,18	512	1,79	395	0,51	93	1,37	259	1,55	308	0,68	87	0,66	84	0,68	87	0,64	80	
29	1,94	456	1,19	231	3,15	930	2,09	484			0,64	117	1,30	240	1,64	332	0,76	103	0,67	86	0,67	86	0,76	103	
30	1,98	469	1,18	229	3,32	1010	1,78	393			0,62	113	0,91	138	1,70	349	0,67	86	0,68	87	0,67	86	0,69	89	
31	1,76	398			3,54	1115	2,15	503			0,88	168			1,64	332			0,68	87	0,70	91			
		Media anual Nivel																							
Media	233		345		304		790		495		270		306		208		135		82		89		84	278	
Máx inst.	651		534		1370		1399		806		484		769		421		332		186		133		232	1399	4,08
Ap (Hm3)	625		895		813		2115		1197		724		792		558		349		220		239		217	8744	

ESTACIÓN DE AFORO 27. RIO EBRO A SU PASO POR TORTOSA
CAUDALES DIARIOS (m3/s) Y NIVEL DE LA LAMINA DE AGUA (m)

1994 -95

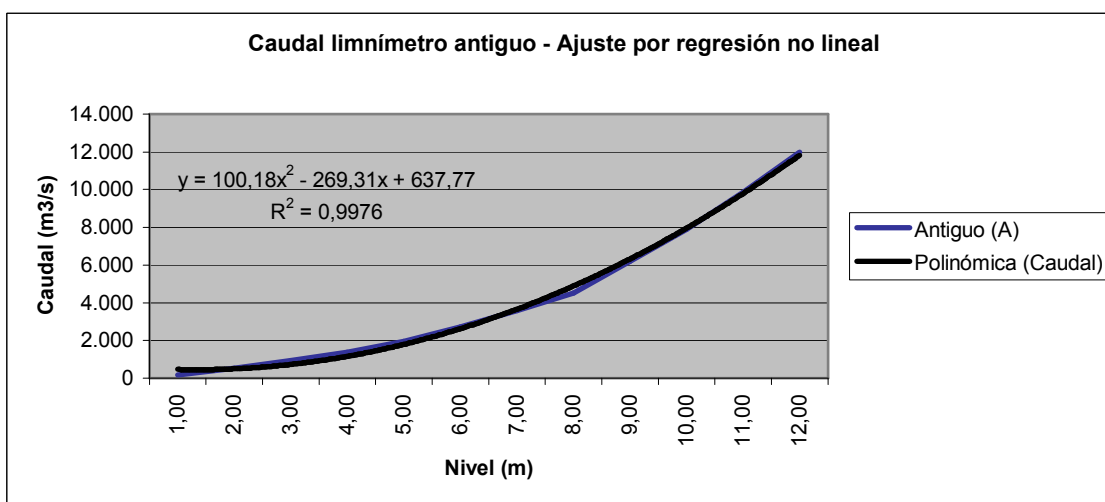
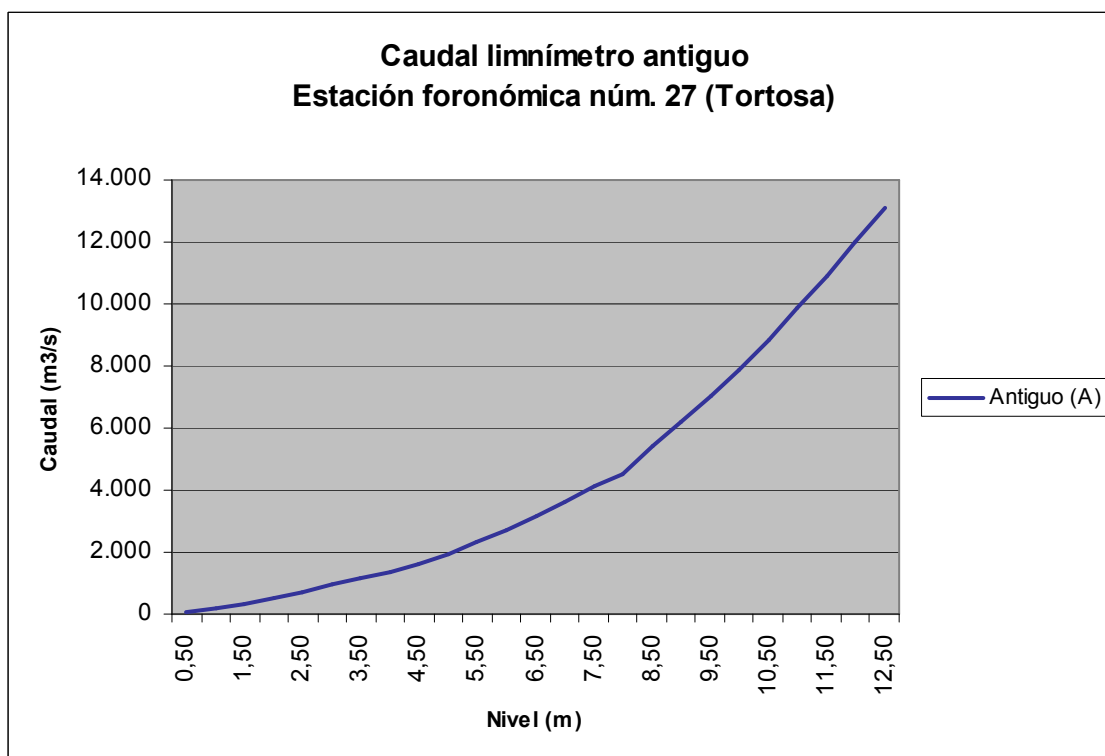
AÑO	DIA	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.											
1	0,60	73	1,00	177	1,09	204	0,95	165	1,43	320	1,83	468	0,93	160	0,71	108	0,54	74	0,53	72	0,50	66	0,52	70
2	0,62	77	0,86	142	1,26	258	1,05	192	1,15	438	1,82	465	0,76	119	0,71	108	0,58	81	0,53	72	0,53	72	0,54	74
3	0,63	78	0,85	140	1,31	276	1,19	233	2,01	536	1,71	423	0,81	130	0,72	110	0,60	85	0,54	74	0,53	72	0,57	79
4	0,63	78	1,39	305	1,19	233	1,65	401	1,98	525	1,75	438	0,88	147	0,76	119	0,57	79	0,51	68	0,55	76	0,56	77
5	0,70	91	1,39	305	1,19	233	1,64	397	1,82	465	2,08	563	0,88	147	0,74	114	0,57	79	0,50	68	0,55	76	0,55	76
6	0,58	70	1,39	305	1,40	309	1,72	427	1,42	316	2,84	872	0,88	147	0,74	114	0,52	70	0,50	66	0,53	72	0,57	79
7	0,61	75	1,39	305	1,24	251	1,99	528	1,64	397	3,08	971	0,88	147	0,73	112	0,50	66	0,50	66	0,55	76	0,55	76
8	0,62	77	1,39	305	1,12	212	2,86	880	1,63	393	3,18	1013	0,88	147	0,76	119	0,51	68	0,50	66	0,52	70	0,46	60
9	0,63	78	1,39	305	1,06	195	2,70	814	1,39	305	3,17	1009	0,88	147	0,61	87	0,53	72	0,57	79	0,53	72	0,46	60
10	1,92	414	1,39	305	1,01	180	2,48	722	1,63	393	3,25	1042	0,88	147	0,64	93	0,55	76	0,53	72	0,53	72	0,49	64
11	2,24	528	1,72	427	1,10	207	3,07	967	1,33	283	3,21	1025	0,76	119	0,64	93	0,55	76	0,55	76	0,52	70	0,47	61
12	1,82	384	1,69	416	1,01	180	2,58	764	1,23	247	2,87	884	0,78	123	0,63	91	0,56	77	0,61	87	0,46	60	0,47	61
13	1,73	358	1,55	364	1,03	186	3,36	1088	1,29	269	2,71	818	0,81	130	0,63	91	0,51	68	0,63	91	0,46	60	0,43	55
14	1,12	191	1,36	294	1,17	227	4,20	1478	1,41	313	2,91	901	0,79	125	0,6	85	0,51	68	0,65	96	0,45	58	0,43	55
15	1,13	194	1,44	324	1,22	243	3,60	1196	1,49	342	2,96	921	0,78	123	0,61	87	0,53	72	0,60	85	0,45	58	0,49	64
16	1,18	208	1,41	313	0,99	175	3,69	1237	1,56	367	2,80	855	0,78	123	0,59	83	0,52	70	0,62	89	0,47	61	0,50	66
17	1,11	189	1,52	353	1,16	224	3,28	1055	1,45	327	2,90	897	0,78	123	0,59	83	0,52	70	0,62	89	0,47	61	0,50	66
18	1,21	216	1,98	525	1,02	183	2,32	657	1,29	269	2,78	847	0,81	130	0,62	89	0,52	70	0,50	66	0,53	72	0,50	66
19	1,43	275	1,95	513	1,03	186	2,46	714	1,47	335	2,28	642	0,80	127	0,61	87	0,53	72	0,59	83	0,51	68	0,49	64
20	1,11	189	1,50	346	0,97	170	2,62	780	1,48	338	1,87	483	0,80	127	0,61	87	0,5	66	0,5	66	0,51	68	0,48	63
21	1,17	205	1,41	313	0,92	157	2,69	809	1,34	287	1,66	405	0,80	127	0,58	81	0,49	64	0,54	74	0,51	68	0,49	64
22	1,16	202	1,43	320	0,83	135	2,59	768	1,29	269	1,63	393	0,82	132	0,59	83	0,49	64	0,52	70	0,55	76	0,48	63
23	0,99	158	1,61	386	1,39	305	2,48	722	1,30	273	1,65	401	0,73	123	0,59	83	0,49	64	0,54	74	0,59	83	0,50	68
24	1,00	160	1,40	309	1,20	236	2,60	772	1,44	324	1,55	364	0,73	123	0,63	91	0,52	70	0,51	68	0,58	81	0,50	66
25	0,83	118	1,30	273	1,24	251	2,58	764	1,23	247	1,37	298	0,73	123	0,65	96	0,54	74	0,48	63	0,57	79	0,47	61
26	0,78	107	1,32	280	1,30	273	2,67	801	1,24	251	1,22	243	0,73	123	0,63	91	0,6	85	0,51	68	0,55	76	0,46	60
27	1,07	178	1,28	285	0,88	147	2,67	801	1,86	480	1,23	247	0,73	123	0,62	89	0,57	79	0,56	77	0,56	77	0,47	61
28	0,92	140	1,37	298	0,79	125	2,55	751	1,89	491	1,12	212	0,73	123	0,61	87	0,53	72	0,59	83	0,55	76	0,46	60
29	0,74	99	1,09	204	1,08	201	2,12	579		1,01	180	0,73	0,73	123	0,61	87	0,61	87	0,53	72	0,46	60	0,51	68
30	0,94	145	1,22	243	1,02	183	1,70	420		1,09	204	0,73		123	0,56	77	0,54	74	0,53	72	0,52	70	0,52	70
31	0,93	160			1,05	192	1,49	342		1,10	207			0,53		72			0,53	72	0,55	76		
Media	178		312	211	717		350	603	131	93	73	75	70										66	240
Máx inst.	1137			438	1504		606	1067			117	137	100										112	
An (Hm3)	476		809	564	1920		847	1615	340	250	189	200	188										171	7569

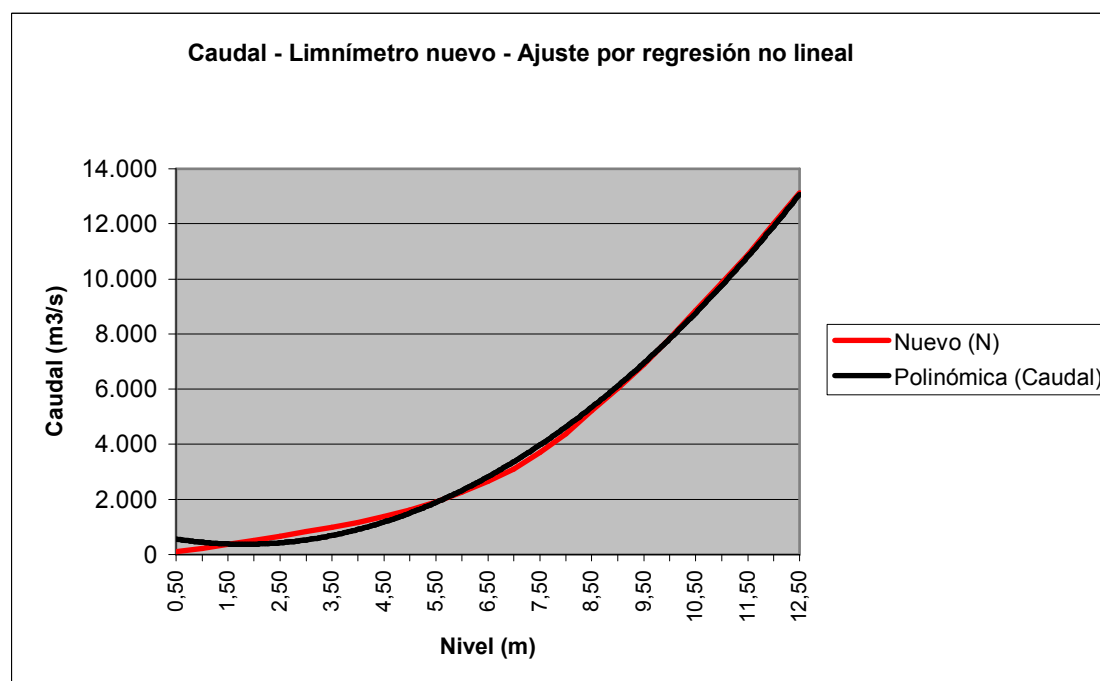
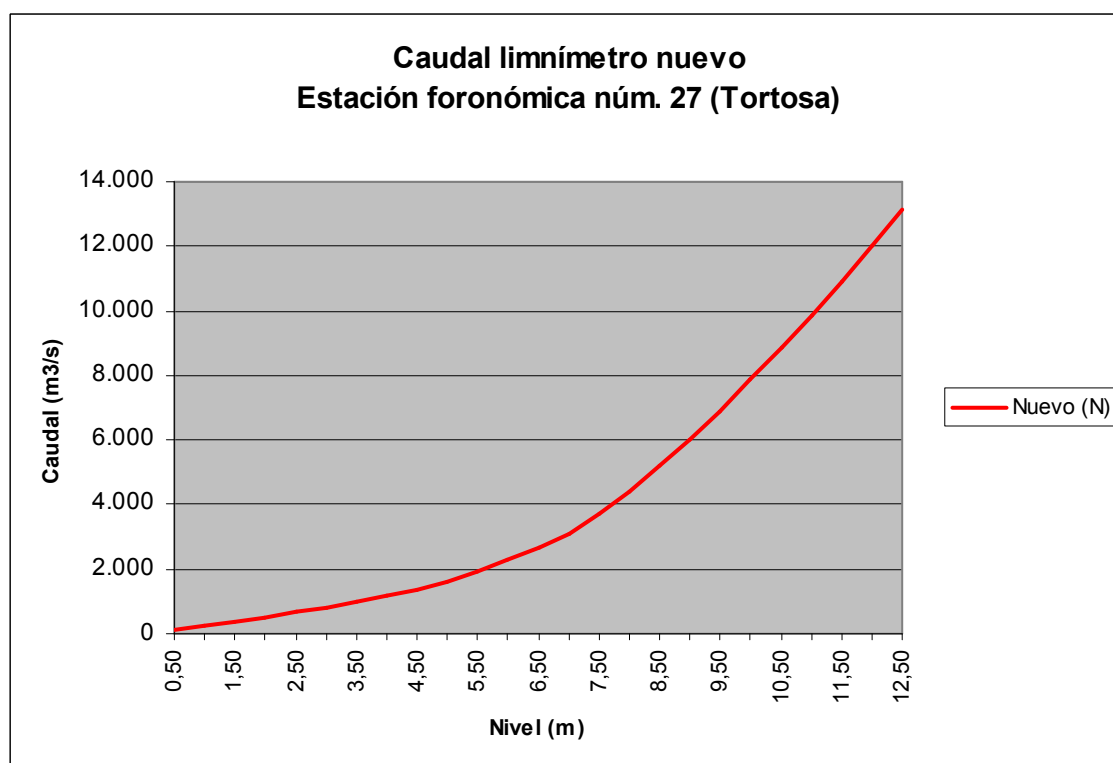
9. CURVAS LIMNIMÉTRICAS DE CAUDALES EN TORTOSA (EA-27)

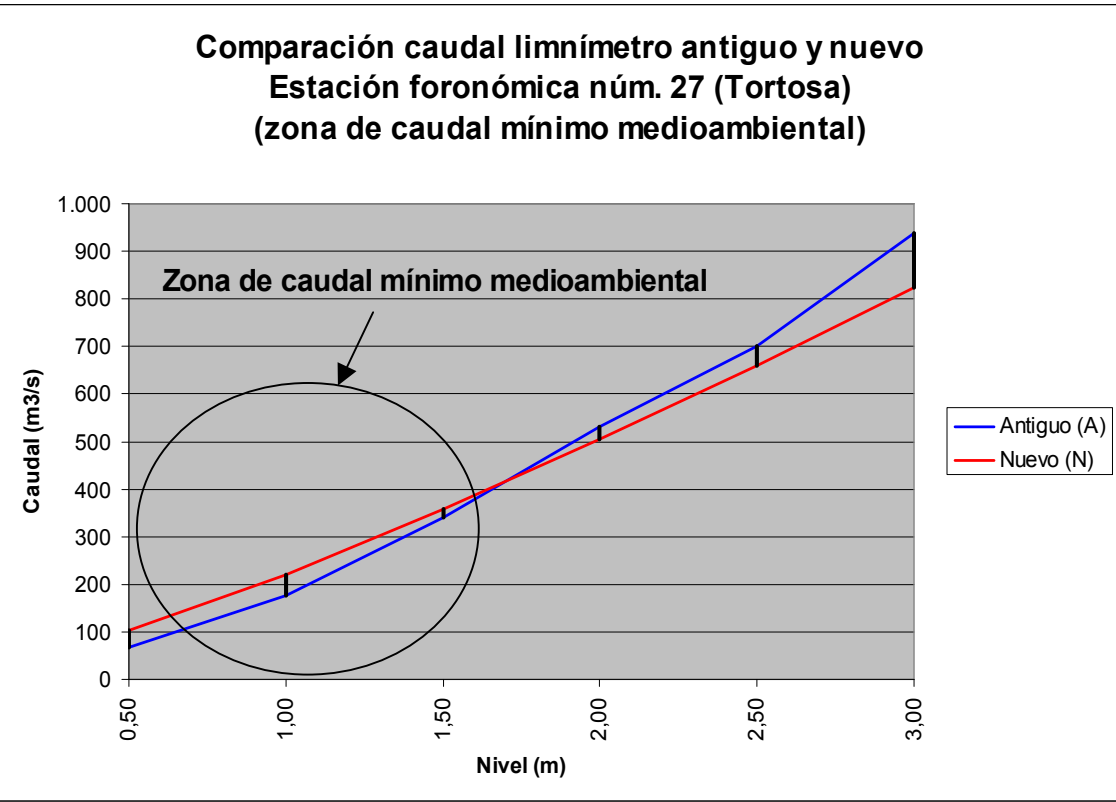
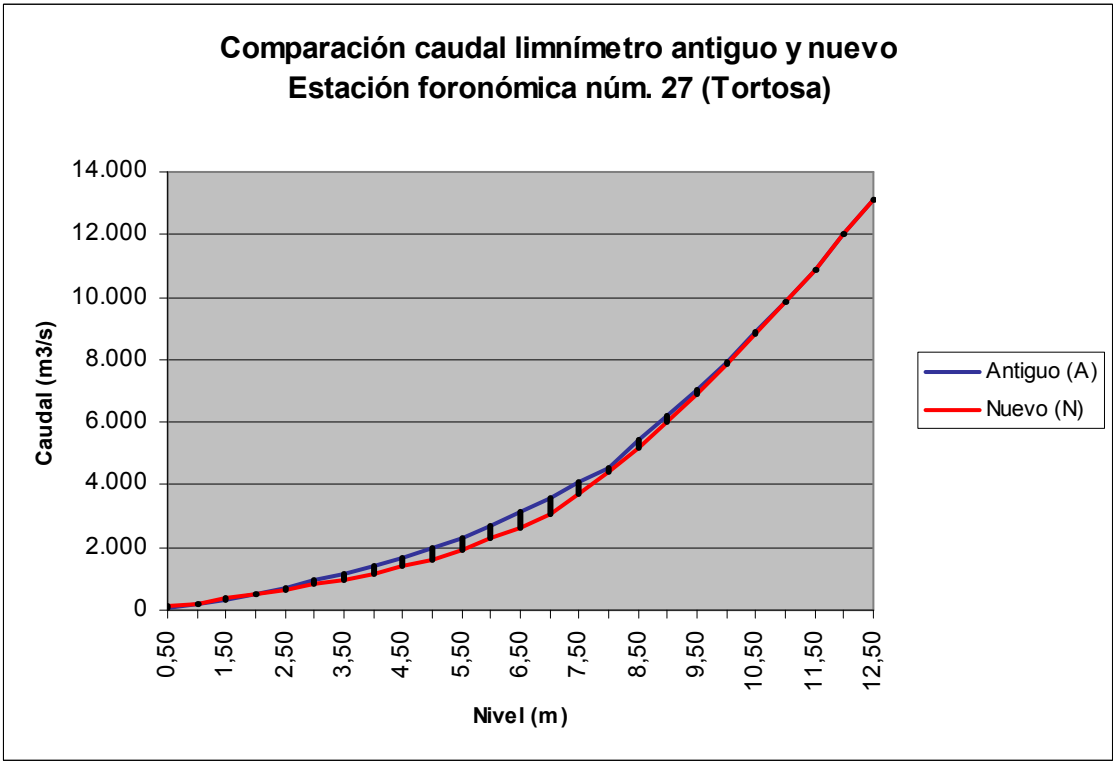
Nivel (m)	Caudal (m ³ /seg)		Diferencia (m ³ /seg)	Diferencia relativa
	Antiguo (A)	Nuevo (N)	N - A	%
0,50	66	104	+38	+57'6
1,00	177	219	+42	+23'7
1,50	340	359	+19	+5'6
2,00	532	505	-27	-5'1
2,50	701	661	-40	-5'7
3,00	938	823	-115	-12'3
3,50	1.150	990	-160	-13'9
4,00	1.379	1.170	-209	-15'2
4,50	1.640	1.375	-265	-16'2
5,00	1.950	1.610	-340	-17'4
5,50	2.310	1.900	-410	-17'7
6,00	2.708	2.270	-438	-16'2
6,50	3.152	2.650	-502	-15'9
7,00	3.600	3.100	-500	-13'9
7,50	4.100	3.690	-410	-10'0
8,00	4.520	4.380	-140	-3'1
8,50	5.420	5.200	-220	-4'1
9,00	6.200	6.020	-180	-2'9
9,50	7.020	6.900	-120	-1'7
10,00	7.900	7.850	-50	-0'6
10,50	8.870	8.850	-20	-0'2
11,00	9.860	9.860	0	± 0'0
11,50	10.890	10.890	0	± 0'0
12,00	12.000	12.000	0	± 0'0
12,50	13.120	13.120	0	± 0'0

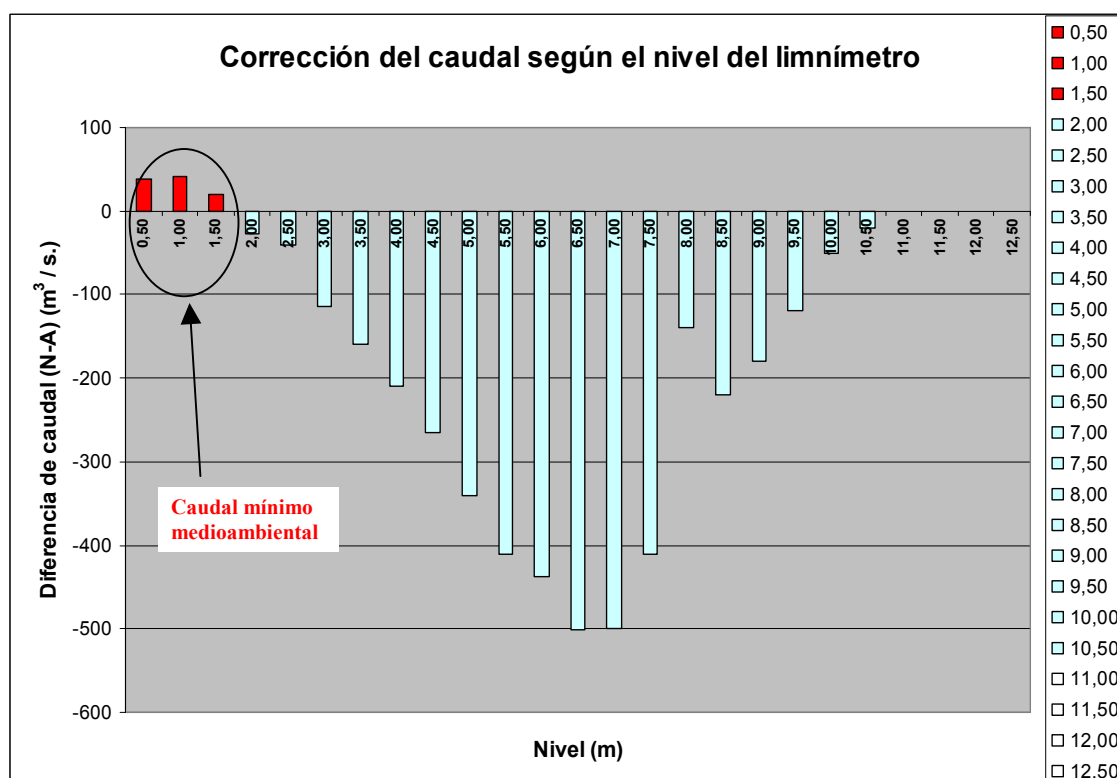
La anterior tabla de caudales para la estación de aforos nº: 27, “Ebro en Tortosa”, según los niveles de la escala de la misma, perteneciente a la Red Oficial de Estaciones de Aforo de la Cuenca del Ebro (ROEA), fue modificada el año 2001 por el servicio de Hidrología. Resulta curioso constatar que este cambio se produjo coincidiendo, en el tiempo, con la aprobación de la ley 10/2001 del PHN, que establecía, como se recordará, un caudal mínimo medioambiental de 100 m³/seg. para este tramo final del río, siguiendo idéntica recomendación a la contenida en el correspondiente Plan Hidrológico de Cuenca.

A continuación pueden verse las representaciones gráficas de las curvas limnimétricas resultantes, así como sus correspondientes ajustes minimocuadráticos por regresión no lineal.









Así pues, a casi todos los niveles de la escala del limnómetro corresponden caudales menores a excepción de los tres primeros valores de la serie, precisamente entre los que se sustentaba la magnitud definitiva del caudal mínimo medioambiental. Dicha circunstancia puede apreciarse también con claridad en los gráficos que anteceden.

Veamos, en fin, que el ajuste no lineal a una función potencial de la curva limnimétrica nueva ofrece la configuración analítica siguiente:

$$y = 179'185 \cdot x^{1'562} \quad , \text{ con } R^2 = 0'9648,$$

que resulta con un grado de eficiencia en el ajuste comparable a las funciones parabólicas y muy superior a otros tipos de funciones, como v.gr. la transformación semilogarítmica natural o neperiana, a saber:

$$y = -1.876'33 + 3.771'47 \cdot \ln x \quad ,$$

con un coeficiente de determinación o crítico de $R^2 = 0'6004$, muy bajo.

10. CAUDALES MEDIOS MENSUALES Y ANUALES EN TORTOSA. PERIODO DEL 1912-13 AL 2003-04

Nº estación:	27	Comarca: Bajo Ebro	Denominación: <i>Ebro en Tortosa</i>
Provincia:	Tarragona		

CAUDALES MEDIOS MENSUALES Y MEDIOS ANUALES EN m³/s

AÑO	MENSUALES												ANUALES	
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Qmed	Aport.
	m³/s												m³/s	hm³/a
1912/13	-	-	-	243,2	333,8	428,7	-	1169,7	726,5	235,1	196,2	311,1	-	-
1913/14	938,5	966,6	594,2	595,8	690,4	1000,7	612,9	688,0	611,1	516,7	285,0	327,7	652,2	20.568
1914/15	207,8	562,7	585,8	1344,6	1235,0	1277,1	1610,3	2143,9	1647,6	550,2	282,6	312,7	977,3	30.821
1915/16	570,5	857,6	1171,5	623,9	1311,1	2471,8	1253,5	1081,5	521,0	314,2	214,9	204,1	881,3	27.794
1916/17	218,5	443,2	1357,5	768,8	1139,6	1039,7	1179,9	1607,3	925,3	329,7	213,3	225,0	788,0	24.838
1917/18	213,7	398,4	389,3	752,4	360,2	577,4	1000,0	671,4	487,6	282,2	186,7	220,2	461,8	14.562
1918/19	463,5	581,8	547,1	1002,8	1807,0	1203,6	1463,1	906,6	841,0	321,5	220,6	270,9	802,0	25.293
1919/20	742,0	1325,1	861,8	714,8	552,7	1045,2	850,0	662,2	419,8	304,7	199,0	213,0	657,9	20.748
1920/21	400,2	461,0	662,1	577,1	523,4	419,0	371,1	1518,0	996,8	250,2	239,9	335,4	560,0	17.660
1921/22	302,6	224,8	423,4	708,8	875,6	704,3	1149,6	830,6	662,8	251,8	189,8	206,7	541,3	17.071
1922/23	264,1	432,6	236,0	480,9	548,7	954,4	726,1	526,4	391,0	609,2	184,9	305,9	471,1	14.858
1923/24	203,7	537,0	1122,2	822,9	540,1	693,2	856,1	484,3	284,7	194,4	182,0	199,2	510,0	16.126
1924/25	214,1	277,7	474,2	259,1	298,2	496,2	851,9	683,2	497,9	301,7	180,1	181,7	393,1	12.398
1925/26	204,7	650,0	575,9	573,3	1217,4	576,1	591,8	894,9	457,5	265,8	192,9	244,4	532,0	16.778
1926/27	382,2	1061,3	817,9	756,7	594,8	1078,1	656,9	711,7	595,4	265,2	194,3	304,6	618,1	19.491
1927/28	279,4	566,9	1238,0	855,8	802,7	1016,3	1239,4	761,0	649,2	237,6	169,1	178,1	665,0	21.016
1928/29	207,1	462,1	418,3	502,4	575,1	387,2	106,8	410,5	660,5	168,1	46,3	186,5	342,2	10.792
1929/30	255,5	638,6	568,5	609,6	802,2	1350,8	910,0	1125,2	1395,8	474,3	134,8	77,3	693,7	21.876
1930/31	327,5	339,6	1320,6	655,8	1251,8	1497,5	711,5	607,4	337,2	119,6	62,6	97,9	608,1	19.177
1931/32	211,4	567,9	454,9	282,2	218,1	470,0	395,1	613,8	726,8	929,4	234,4	273,9	449,6	14.178
1932/33	349,5	380,4	1175,7	488,8	569,0	966,5	323,4	356,7	505,0	154,0	48,6	151,2	456,1	14.383
1933/34	282,3	528,7	545,1	678,6	394,1	724,3	750,4	779,1	383,9	83,4	64,6	77,8	441,5	13.923
1934/35	77,5	404,0	617,8	629,9	701,1	950,5	328,1	763,8	784,3	244,8	101,3	130,9	476,7	15.034
1935/36	198,8	336,9	1092,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sin datos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951/52	355,9	544,9	406,4	738,0	1073,4	708,8	1161,0	726,0	464,5	295,4	206,4	199,8	569,1	17.946
1952/53	203,0	505,0	731,0	729,0	678,0	595,0	283,0	191,0	386,0	276,0	66,0	74,0	393,0	12.350
1953/54	515,2	271,8	437,4	677,4	1273,1	929,3	424,8	730,1	523,8	170,9	85,6	107,1	507,9	16.018
1954/55	46,2	73,0	342,3	855,5	914,3	659,3	116,0	43,3	173,1	19,6	23,2	49,2	272,9	8.607
1955/56	151,8	332,3	422,0	784,1	549,8	869,0	886,1	866,0	665,9	175,8	131,4	191,0	501,5	15.816
1956/57	153,9	320,1	258,0	231,6	384,8	200,6	114,0	256,5	901,8	157,6	73,7	119,3	262,2	8.270
1957/58	180,7	145,8	161,2	313,3	468,2	862,4	695,6	292,8	122,3	104,8	31,1	81,8	287,2	9.056
1958/59	90,0	193,8	703,5	711,3	438,4	802,1	556,4	739,3	467,2	176,0	74,6	466,9	452,1	14.256
1959/60	655,8	1086,4	2171,2	1271,9	1595,4	1407,0	749,2	612,2	707,5	350,6	205,5	161,2	911,5	28.745
1960/61	1254,0	1216,4	1126,4	1983,2	1129,2	465,0	311,7	312,0	450,3	122,5	92,9	135,3	715,3	22.556
1961/62	424,2	1086,3	1068,5	1124,8	1055,9	1342,9	1050,3	585,9	425,3	136,7	30,9	66,9	697,4	21.994
1962/63	250,3	463,0	635,8	1026,6	624,8	767,6	965,3	379,7	455,2	284,6	461,0	413,1	559,9	17.658
1963/64	264,0	709,2	903,5	349,3	562,7	840,7	972,8	475,8	484,0	96,6	52,7	88,7	481,8	15.194
1964/65	269,9	283,4	526,3	659,5	472,3	885,8	426,0	207,8	111,5	102,4	50,4	107,2	342,0	10.786
1965/66	658,5	825,6	866,8	804,3	946,9	938,3	504,5	627,1	617,2	174,8	80,4	140,0	596,7	18.817

CAUDALES MEDIOS MENSUALES Y MEDIOS ANUALES EN m³/s

AÑO	MENSUALES												ANUALES	
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Qmed	Aport.
	m ³ /s												m ³ /s	hm ³ /a
1966/67	255,3	1044,8	890,1	518,1	472,1	654,4	658,5	268,9	213,9	127,5	93,3	97,4	440,3	13.884
1967/68	138,1	789,8	848,8	1085,2	556,5	561,1	618,9	369,6	415,7	156,5	135,4	251,7	493,1	15.552
1968/69	254,8	285,4	435,1	473,0	399,3	1157,6	1357,5	1001,3	565,5	317,7	174,6	251,5	556,8	17.558
1969/70	323,1	343,5	547,3	1244,9	933,4	754,7	364,4	289,5	324,0	170,3	93,8	129,1	457,8	14.438
1970/71	144,6	174,7	260,7	312,6	343,0	332,9	570,1	1570,9	973,2	372,3	160,2	242,5	455,3	14.359
1971/72	285,0	375,7	542,4	679,2	1423,0	1011,5	734,0	668,6	691,6	310,5	220,2	487,9	613,0	19.333
1972/73	513,4	479,5	423,3	539,1	704,5	513,8	312,6	218,2	567,9	235,8	220,2	160,7	405,3	12.781
1973/74	202,2	233,8	233,2	260,0	333,0	903,8	922,1	390,0	307,7	269,8	162,0	286,4	375,0	11.826
1974/75	391,7	505,5	411,6	275,1	560,0	349,5	783,0	475,7	790,8	346,8	134,7	222,5	434,7	13.709
1975/76	225,1	344,0	435,4	304,7	419,9	351,2	333,5	204,3	189,3	176,6	101,4	130,5	267,0	8.419
1976/77	146,2	428,8	361,1	731,0	784,5	464,6	246,3	692,7	1114,7	367,3	287,3	296,8	490,7	15.476
1977/78	427,4	273,7	357,5	381,6	1646,7	1280,2	769,5	800,1	454,6	222,7	122,8	105,3	563,2	17.761
1978/79	145,1	199,0	224,2	621,1	1800,8	685,5	873,0	560,2	911,2	197,0	107,4	207,7	534,0	16.840
1979/80	426,6	472,0	374,2	481,6	265,8	299,3	279,2	413,5	352,3	179,9	89,2	182,4	318,4	10.041
1980/81	190,8	224,0	431,3	876,7	364,0	214,7	353,9	340,2	158,6	167,0	94,1	175,1	299,5	9.444
1981/82	130,3	200,8	183,1	438,7	458,3	591,2	235,1	119,4	154,7	100,0	93,2	147,8	236,5	7.458
1982/83	183,8	789,2	1035,7	638,6	445,3	510,3	568,6	321,8	178,3	209,0	141,2	281,0	441,7	13.931
1983/84	212,9	263,5	279,9	318,9	515,0	415,9	419,4	591,6	573,2	209,0	141,0	281,0	352,0	10.735
1984/85	213,0	594,7	426,2	463,9	504,9	337,7	256,3	394,4	243,4	138,1	209,0	281,0	406,0	12.382
1985/86	84,5	165,5	108,6	159,1	480,3	355,5	423,6	407,1	222,1	108,7	64,4	80,4	219,5	6.922
1986/87	152,6	263,1	190,7	221,8	530,9	332,7	382,2	155,5	87,8	126,4	101,8	146,0	221,8	6.995
1987/88	288,2	388,8	570,7	544,5	963,0	565,4	1070,8	758,7	729,8	534,0	239,2	251,1	571,8	18.032
1988/89	228,9	275,7	225,1	182,2	101,0	66,0	103,0	190,0	63,0	107,0	73,0	62,0	133,0	4.756
1989/90	70,8	129,8	182,0	182,3	193,2	93,9	166,6	139,0	162,3	106,9	103,4	106,1	135,8	4.284
1990/91	159,9	156,7	260,9	348,8	280,8	480,3	646,9	681,1	150,2	129,8	165,5	128,6	299,6	9.448
1991/92	96,2	166,0	271,1	145,6	123,6	98,4	430,7	177,9	304,3	218,8	123,1	145,8	191,6	6.042
1992/93	628,8	793,4	774,7	289,1	166,7	223,3	208,2	318,5	178,0	114,7	132,4	125,9	330,8	10.433
1993/94	233,4	345,2	303,6	789,5	494,6	270,4	305,7	208,5	134,7	82,3	89,3	83,8	277,3	8.745
1994/95	200,2	435,4	210,7	716,9	349,9	602,9	120,9	95,7	68,4	69,2	69,5	65,8	250,5	7.900
1995/96	68,7	81,0	142,9	785,0	906,5	557,2	323,7	394,1	268,6	97,8	110,6	196,4	324,2	10.223
1996/97	180,4	252,5	967,7	1348,8	666,1	290,0	191,3	238,5	316,6	171,8	182,6	187,9	416,1	13.122
1997/98	166,8	284,4	795,0	628,1	430,3	304,9	254,5	381,3	243,0	154,8	134,8	110,7	324,3	10.227
1998/99	126,4	128,8	249,5	280,3	347,3	358,6	160,7	246,8	140,9	120,1	126,7	132,8	201,0	6.340
1999/00	167,0	274,8	347,1	300,7	156,8	115,6	272,9	468,9	234,8	108,5	98,6	106,6	221,5	6.987
2000/01	242,7	327,7	485,8	791,9	698,5	939,8	319,4	468,1	167,3	134,5	120,0	129,5	401,5	12.661
2001/02	118,5	124,3	118,3	-	-	150,0	156,3	184,7	125,6	121,2	126,0	142,4	128,7	4.058
2002/03	114,2	107,2	556,5	531,4	1078,0	816,6	362,2	602,9	142,8	115,6	106,2	135,0	385,6	12.161
2003/04	184,4	495,1	669,7	716,6	504,3	655,3	690,6	699,5	224,5	140,7	155,7	193,7	444,2	14.007
Medias	282,4	449,2	569,9	622,5	671,2	697,4	602,9	570,6	475,1	225,9	143,1	186,8	452,5	14.269
1)	2.729,0	3.520,0	4.247,6	4.400,0	4.032,6	4.499,6	3.563,3	3.600,0	2.750,0	3.192,0	1.290,0	1.065,0	4.499,6	
2)	8,7	25,0	35,4	71,4	75,4	63,8	40,0	16,5	20,0	9,0	9,4	9,0	8,7	

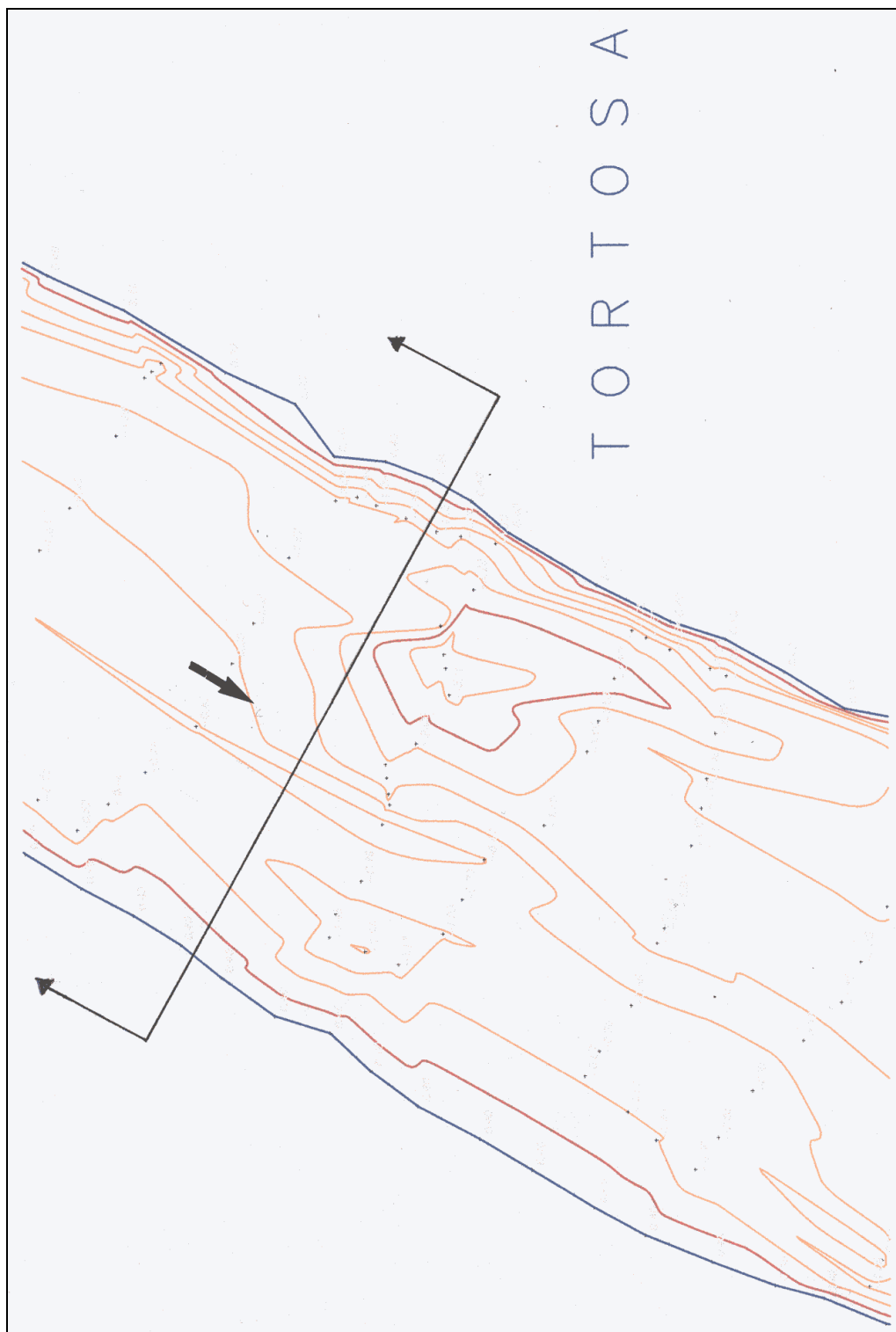
1) Caudal medio diario máximo del mes (m³/s)2) Caudal medio diario mínimo del mes (m³/s)3) El siguiente año hidráulico (2004-05) arroja una aportación de 7.096 hm³/año, equivalente a 225'0 m³/seg. en caudal ficticio continuo. El 2005-06 ofrece 6.011 hm³/año y el 2006-07 ofrece 7.895 hm³/año.4) El último año hidráulico conocido (2007-08) arroja una aportación de 7.058 hm³/año, equivalente a 224'0 m³/seg.

FUENTE: Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

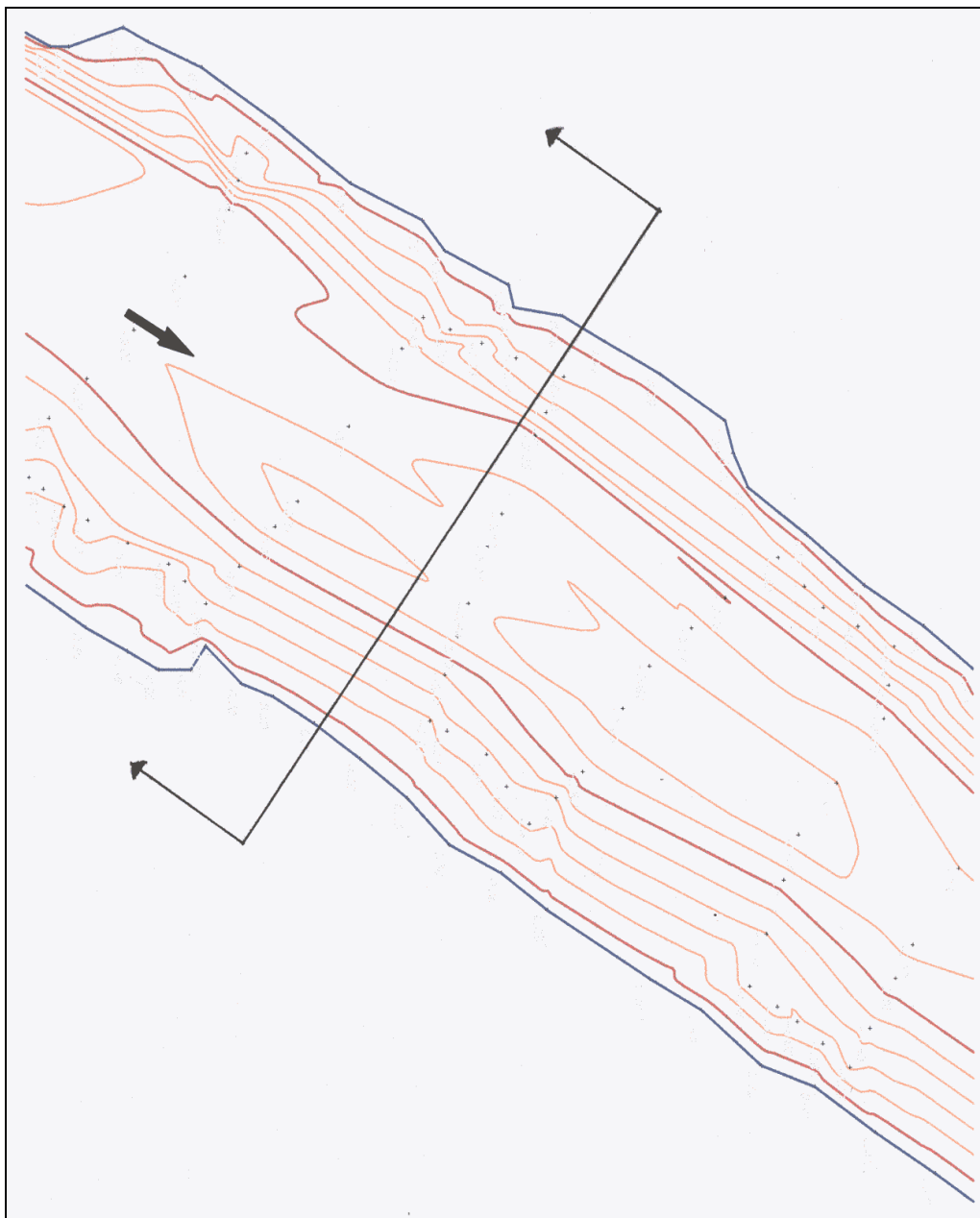
ANEXO 2

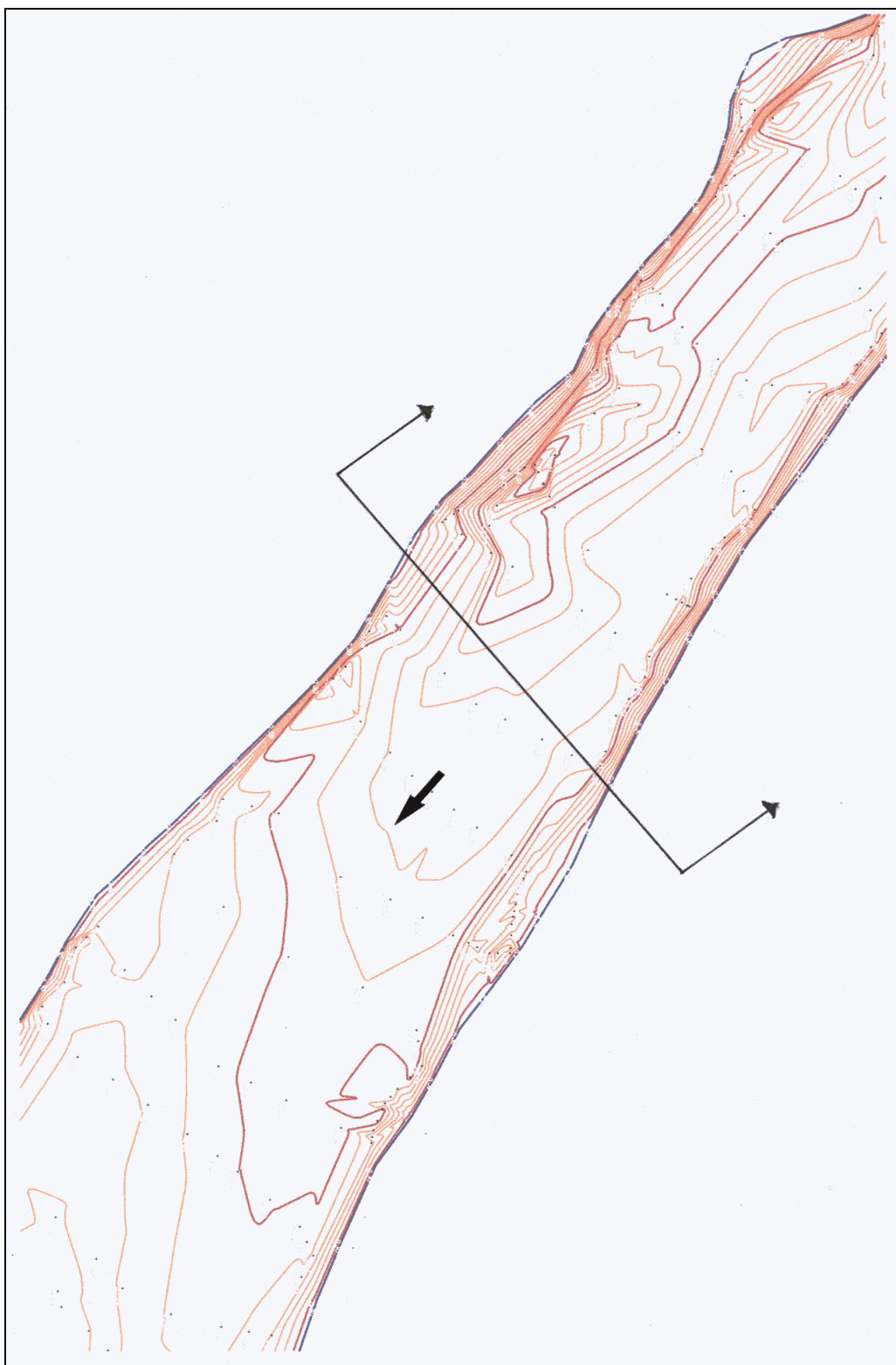
PERFILES TRANSVERSALES DEL RÍO EBRO EN EL TRAMO TORTOSA-AMPOSTA (parte de los subtramos II y III)

1. PERFILES TRANSVERSALES DEL RÍO EBRO EN EL TRAMO TORTOSA-AMPOSTA (PLANTAS)

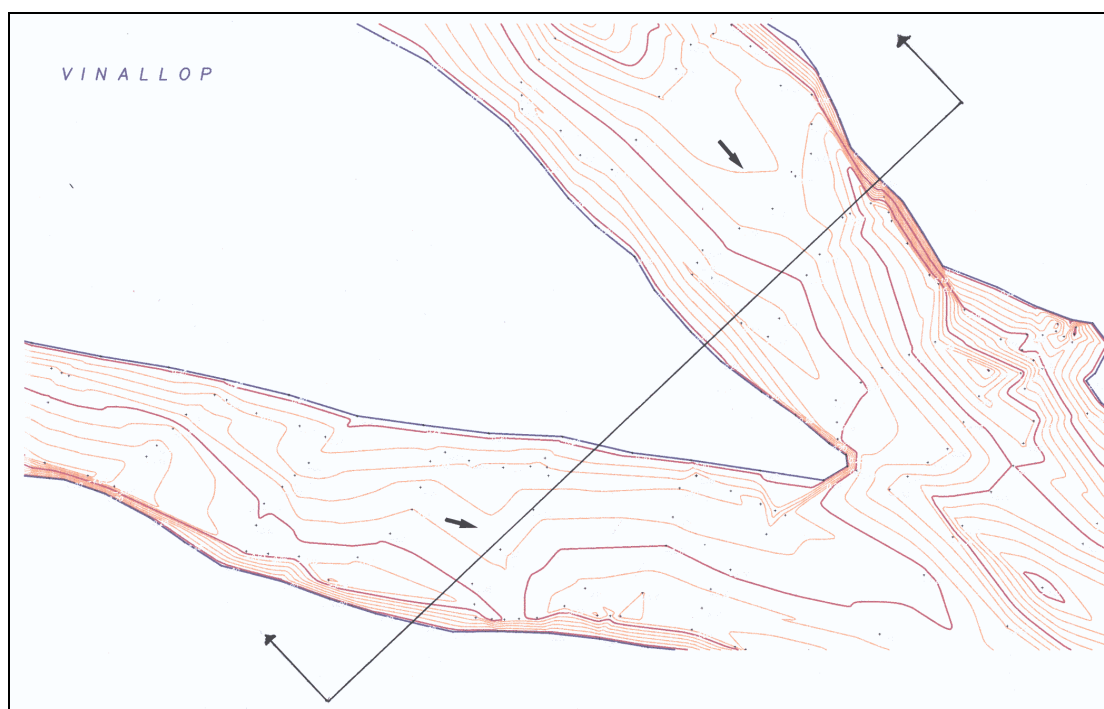
PLANTA DEL RÍO EN PERFIL 7

PLANTA DEL RÍO EN PERFIL 8

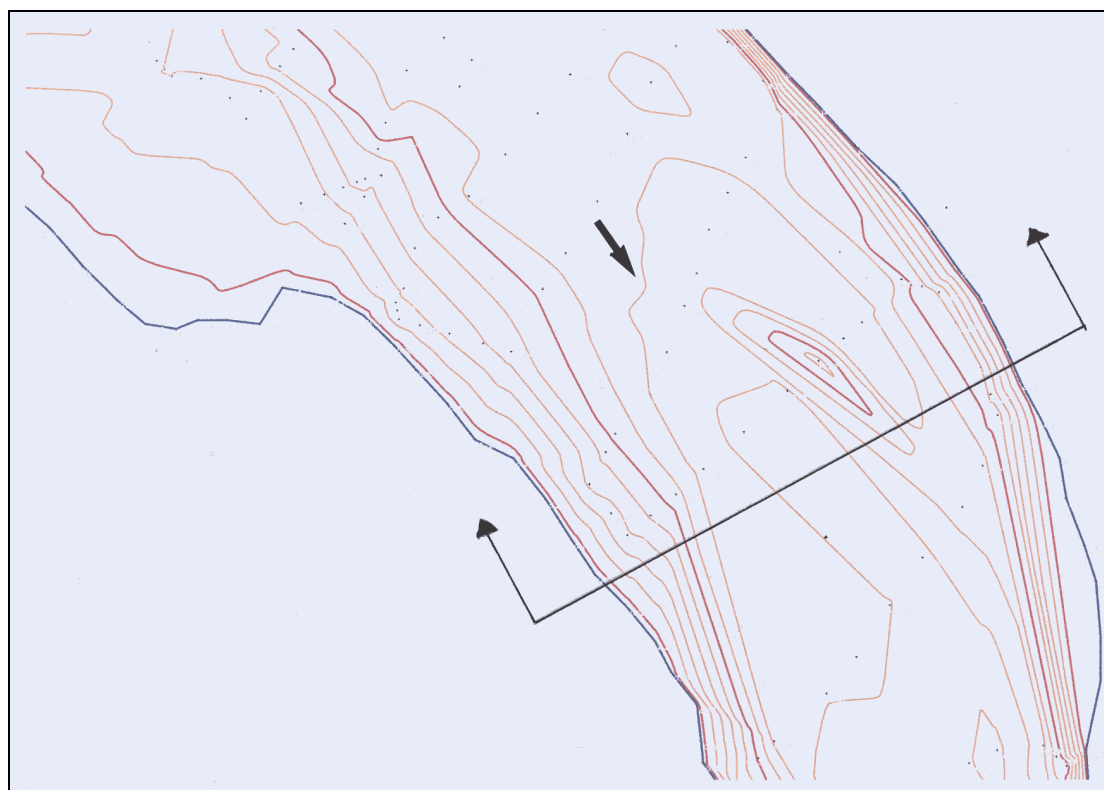


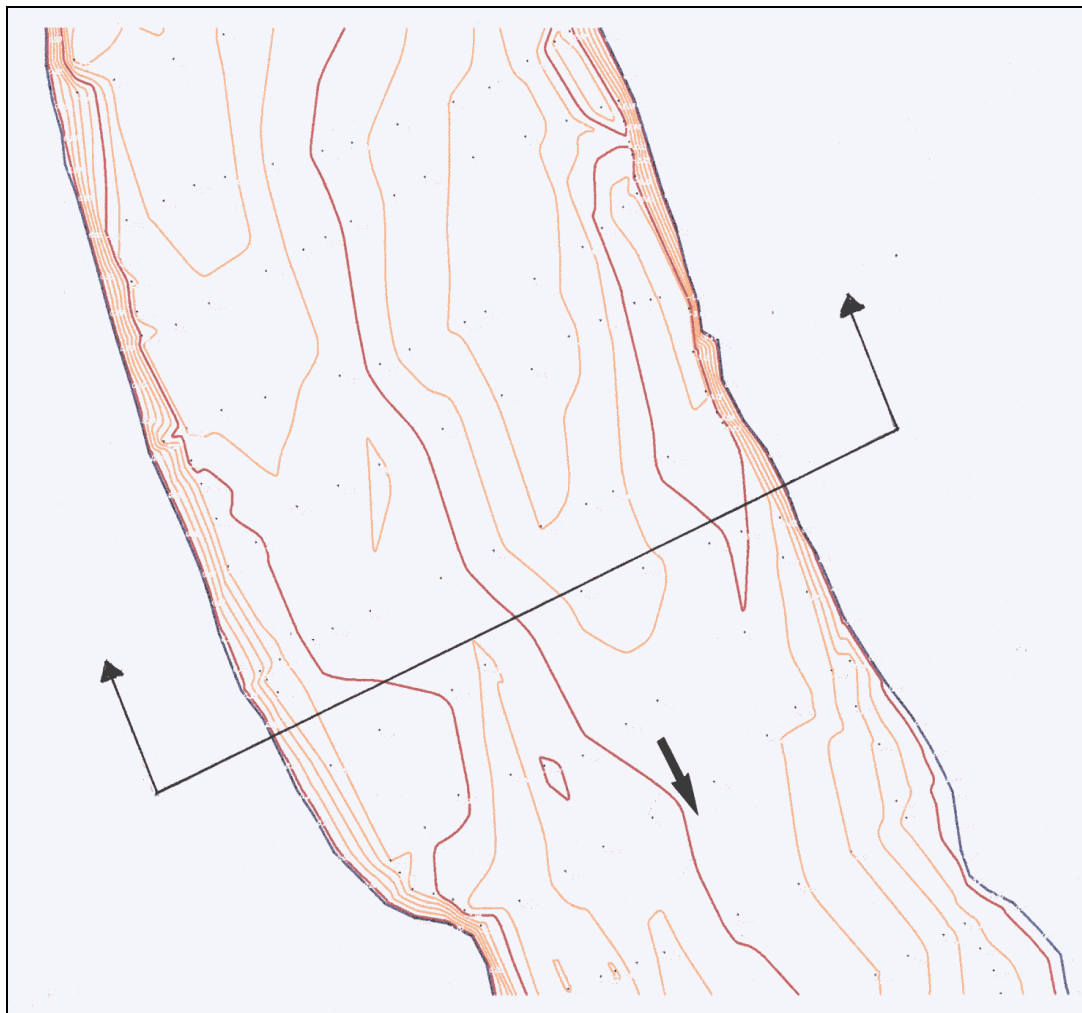
PLANTA DEL RÍO EN PERFIL 14

PLANTA DEL RÍO EN PERFIL 16

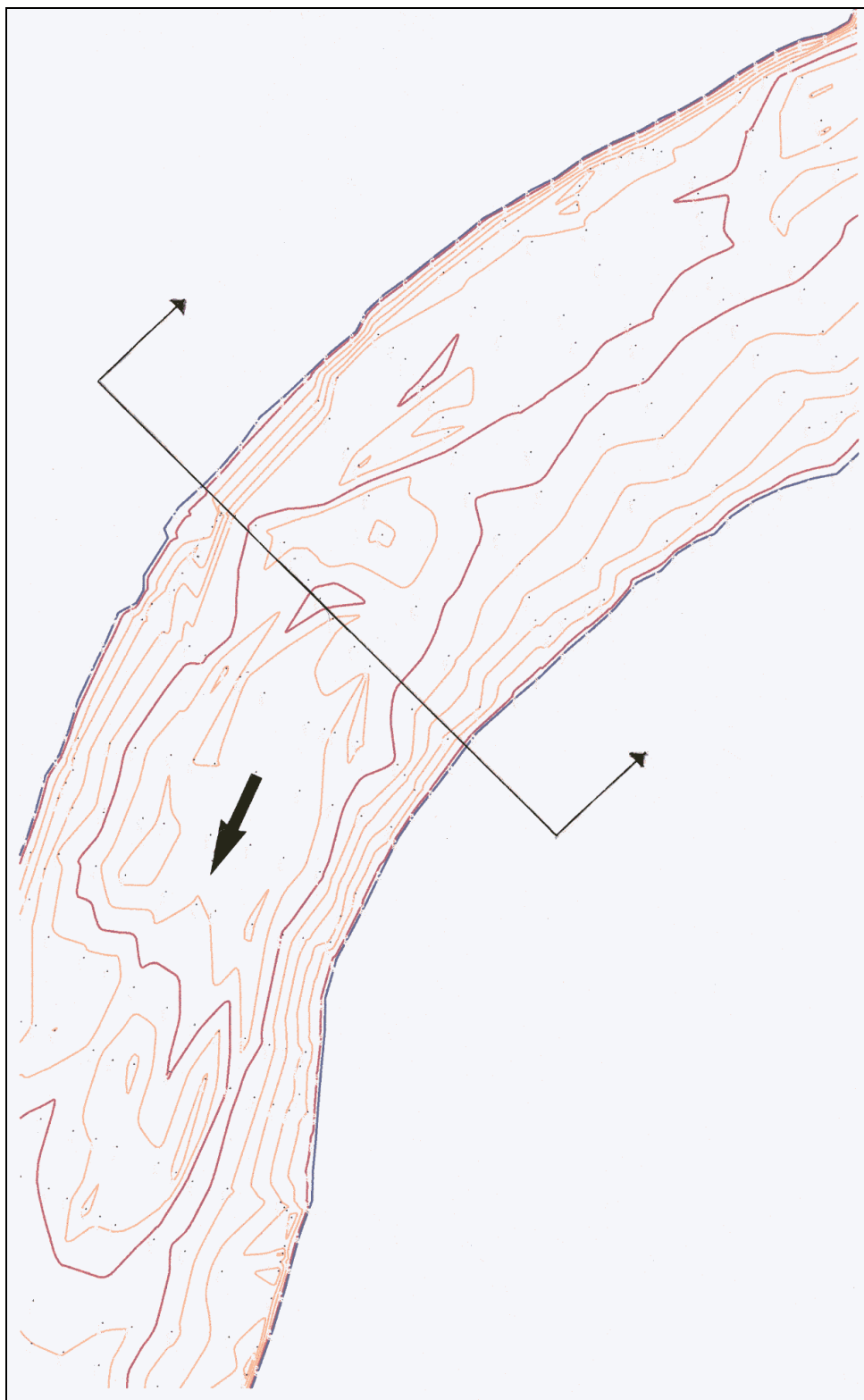


PLANTA DEL RÍO EN PERFIL 19



PLANTA DEL RÍO EN PERFIL 23

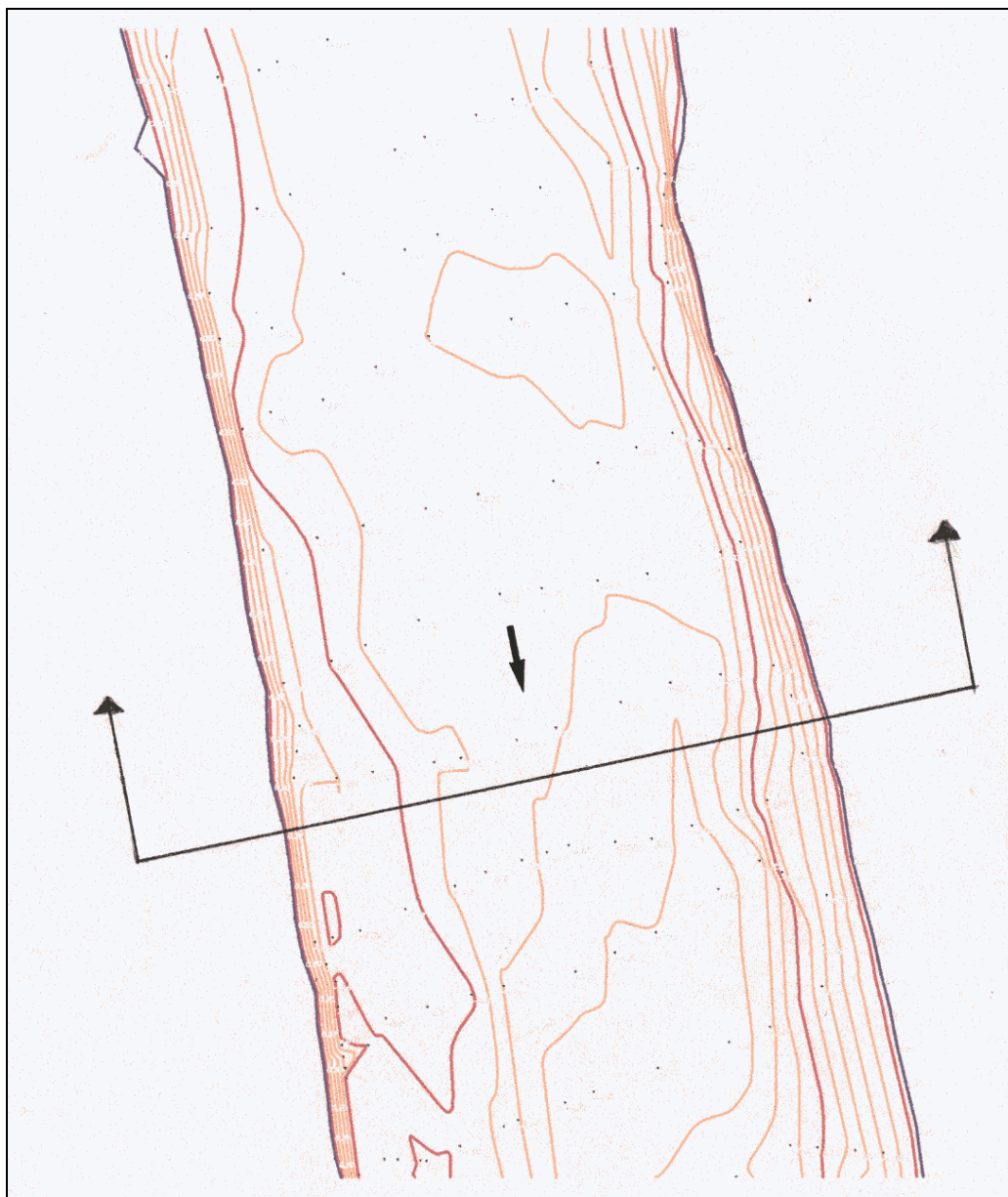
PLANTA DEL RÍO EN PERFIL 1



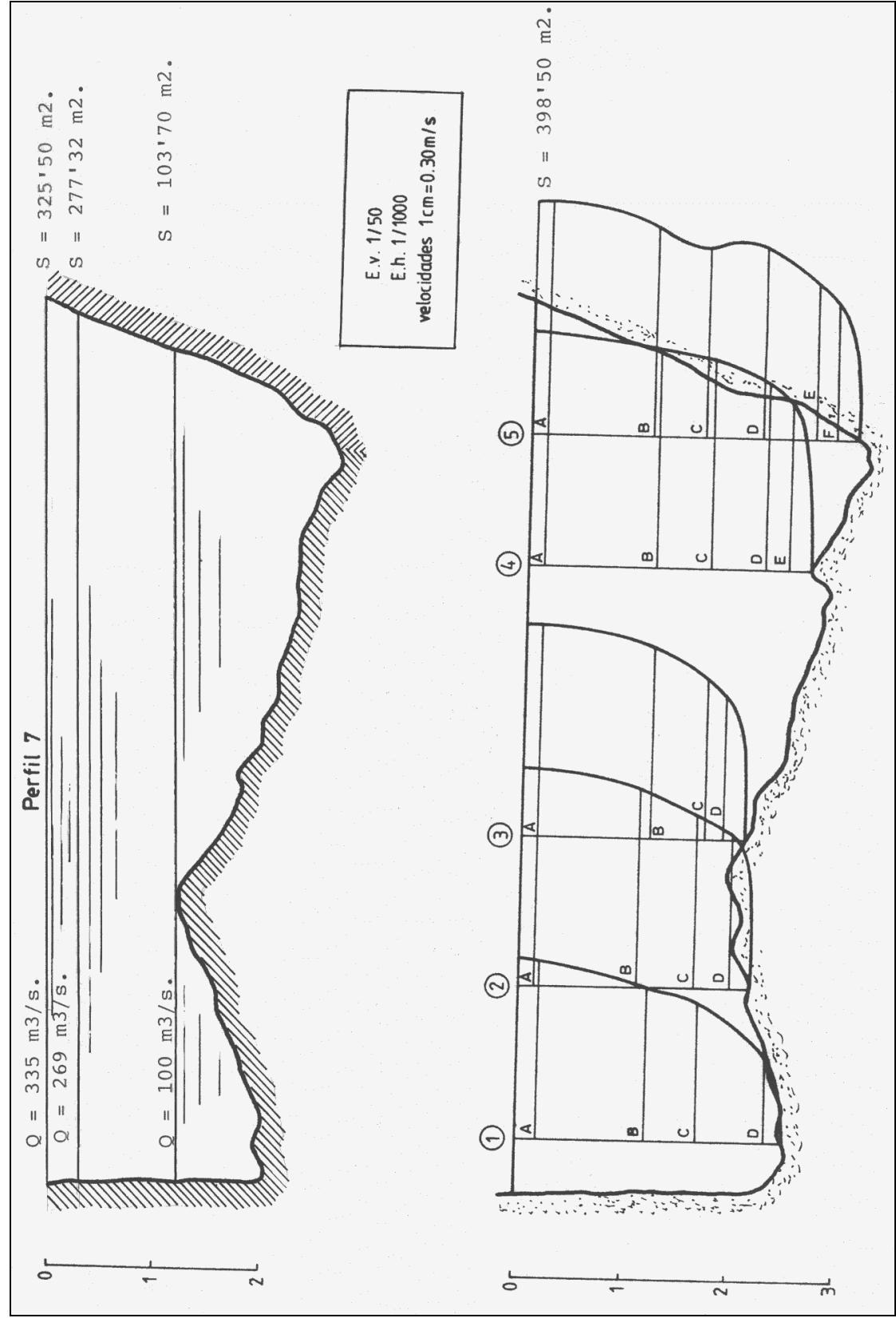
PLANTA DEL RÍO EN PERFIL 5



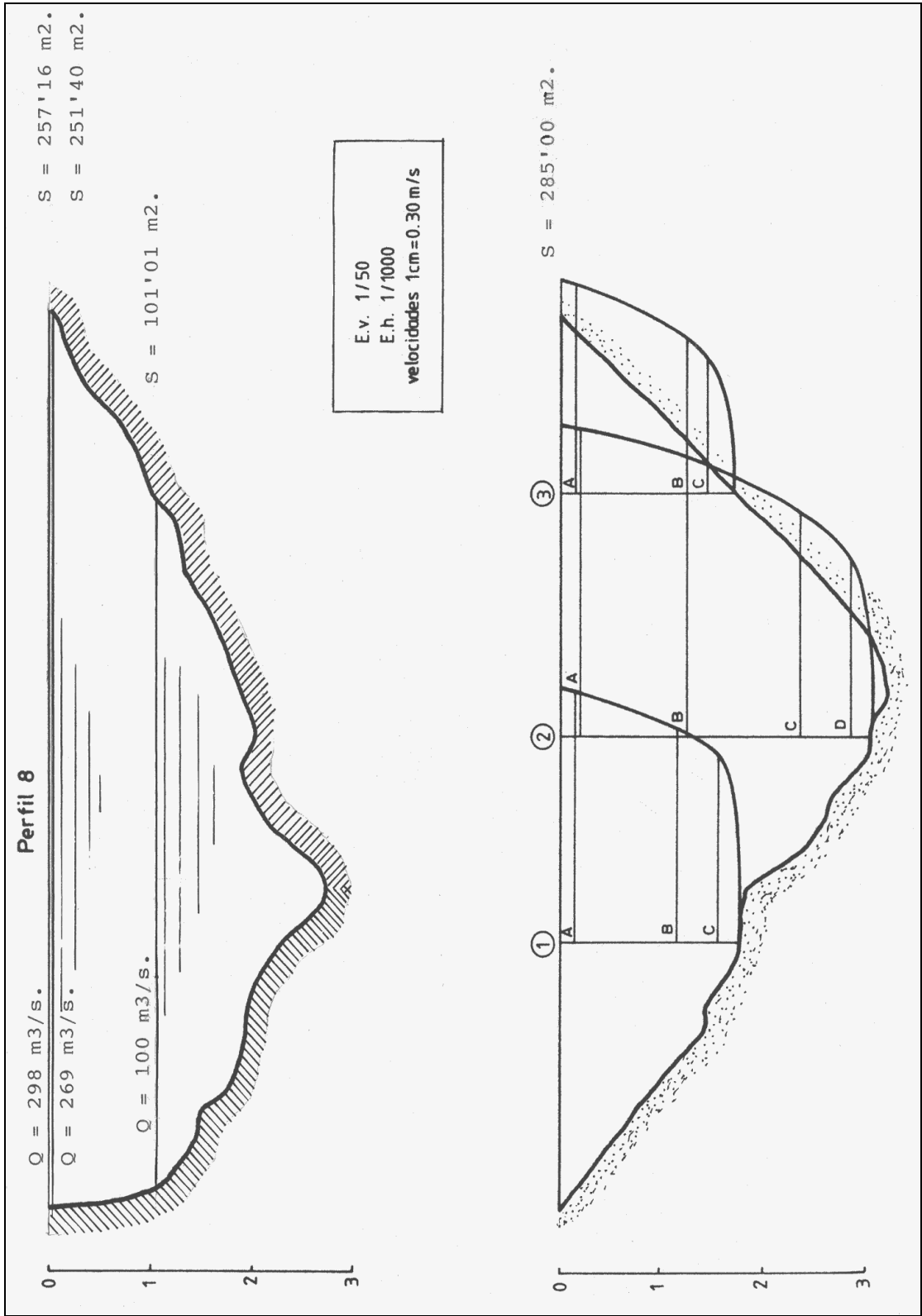
PLANTA DEL RÍO EN PERFIL 24



2. PERFILES TRANSVERSALES DEL RÍO EBRO EN EL TRAMO TORTOSA-AMPOSTA (SECCIONES)



PERFIL 7



PERFIL 8

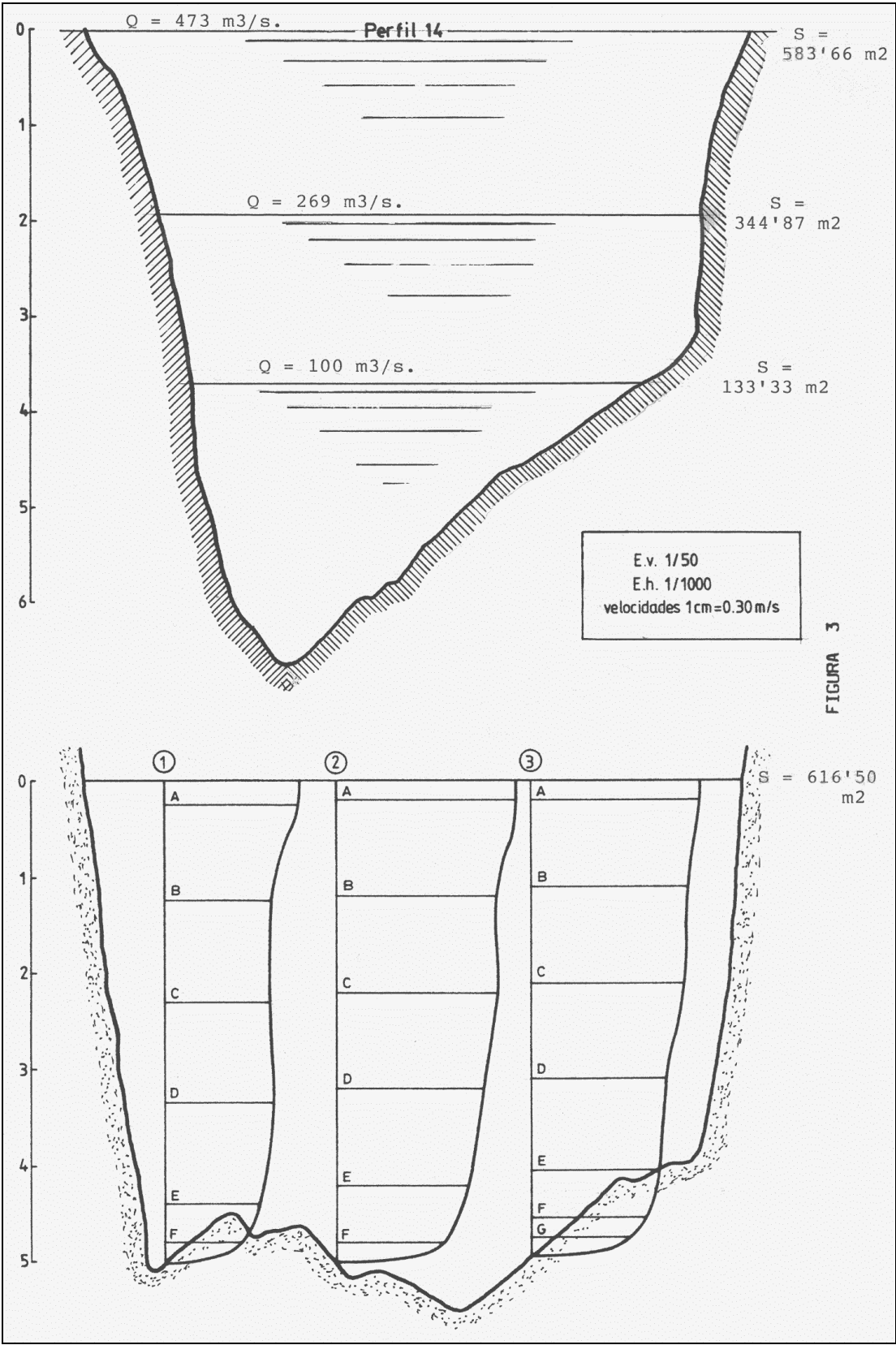
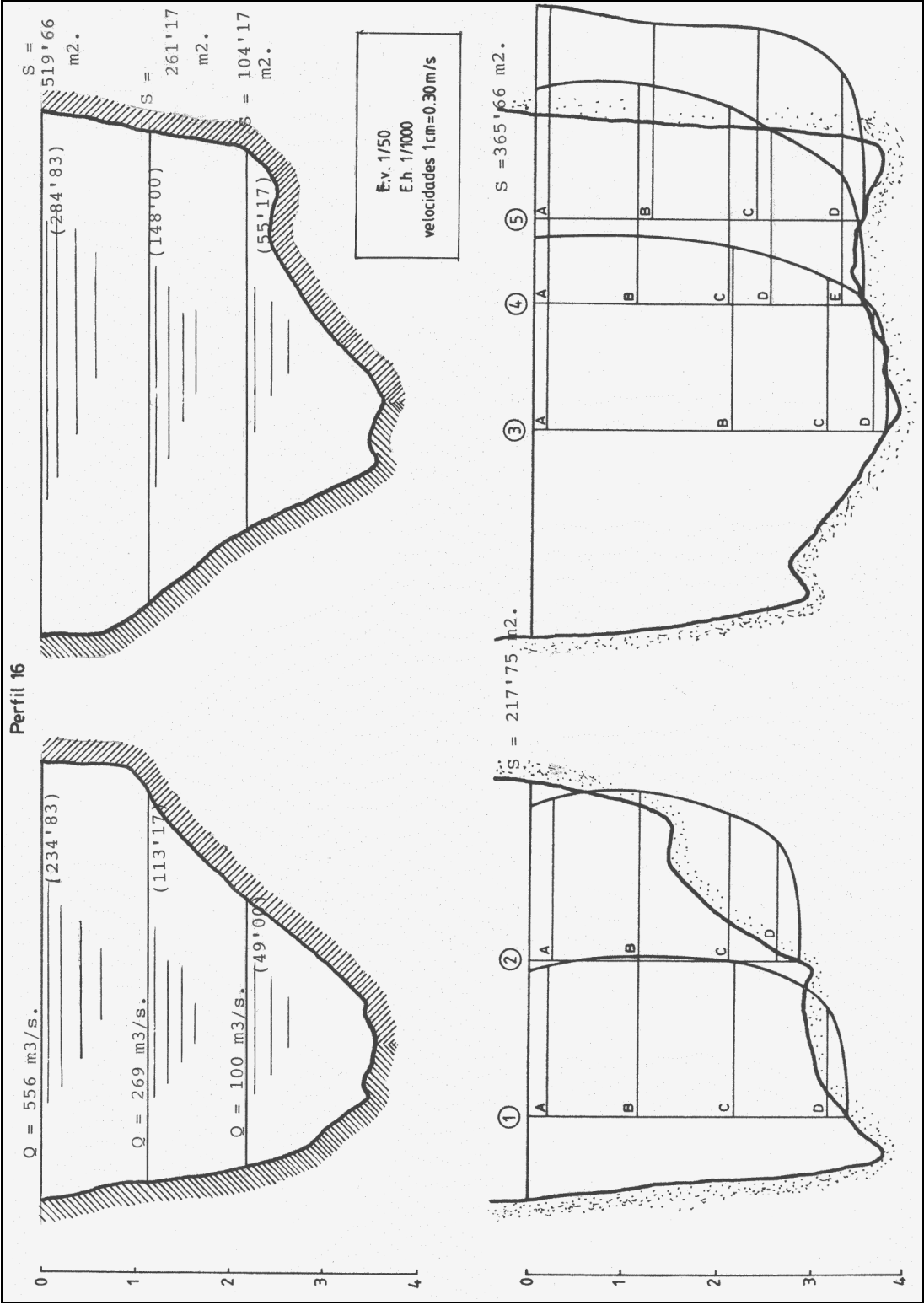
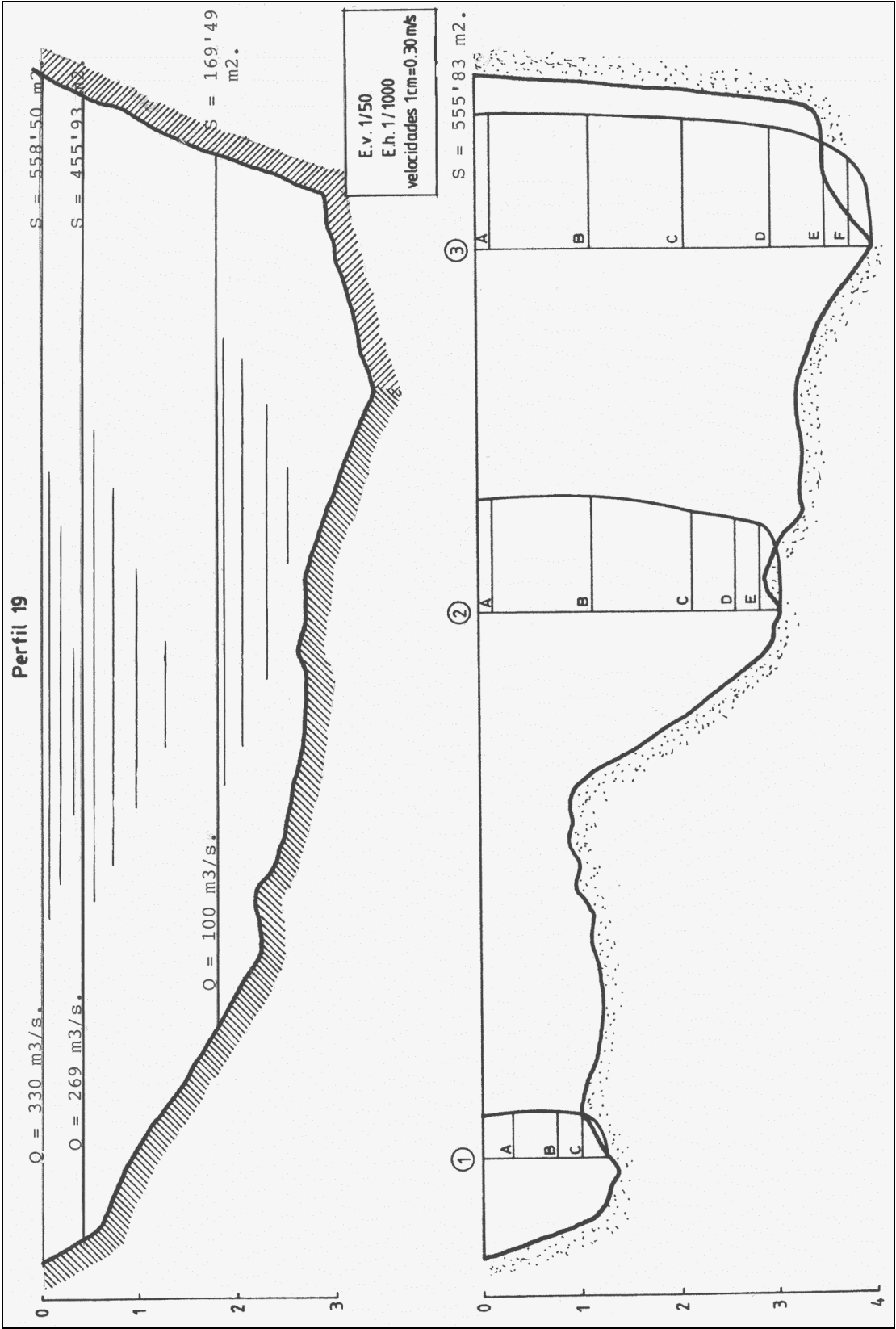


FIGURA 3

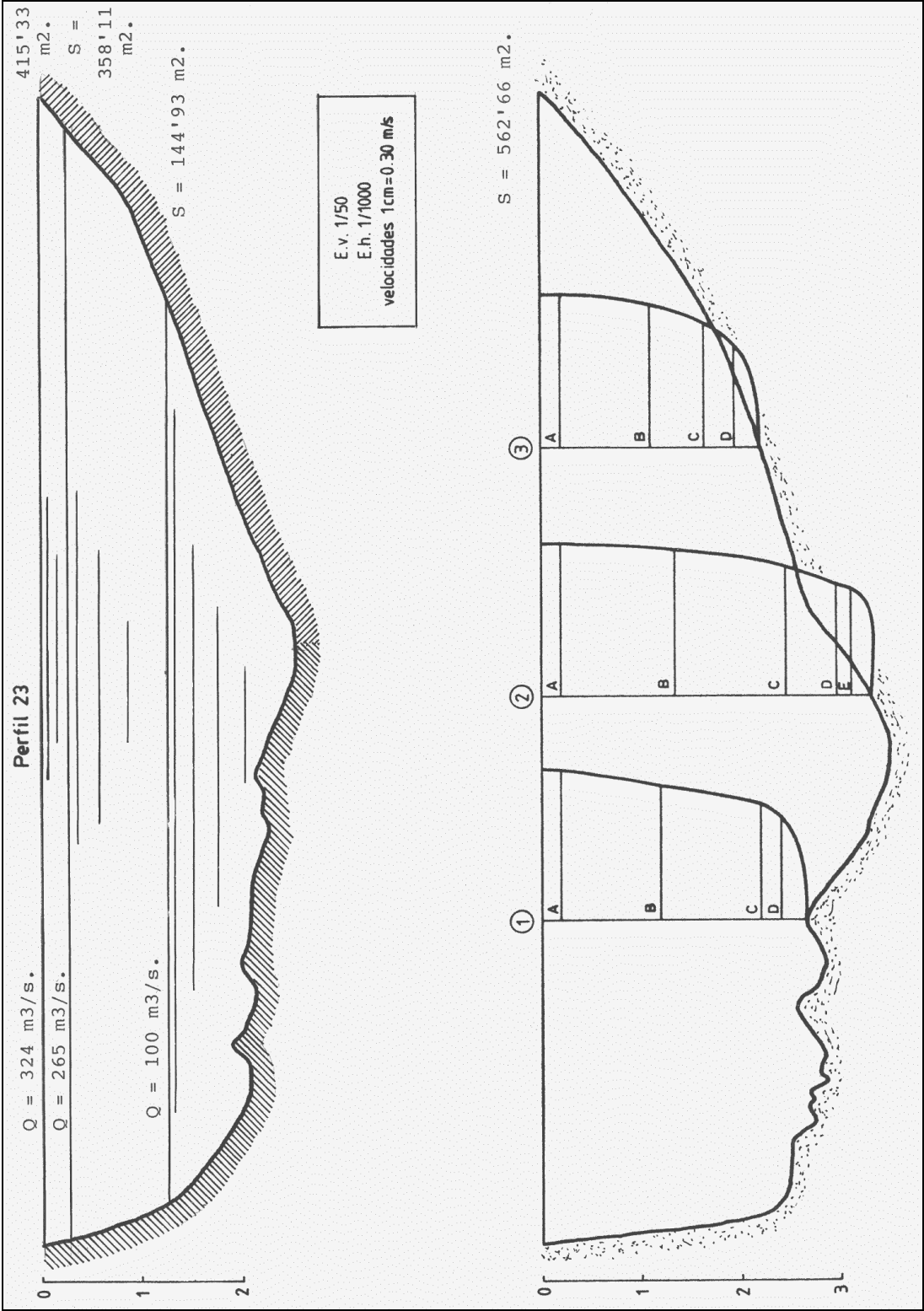
PERFIL 14



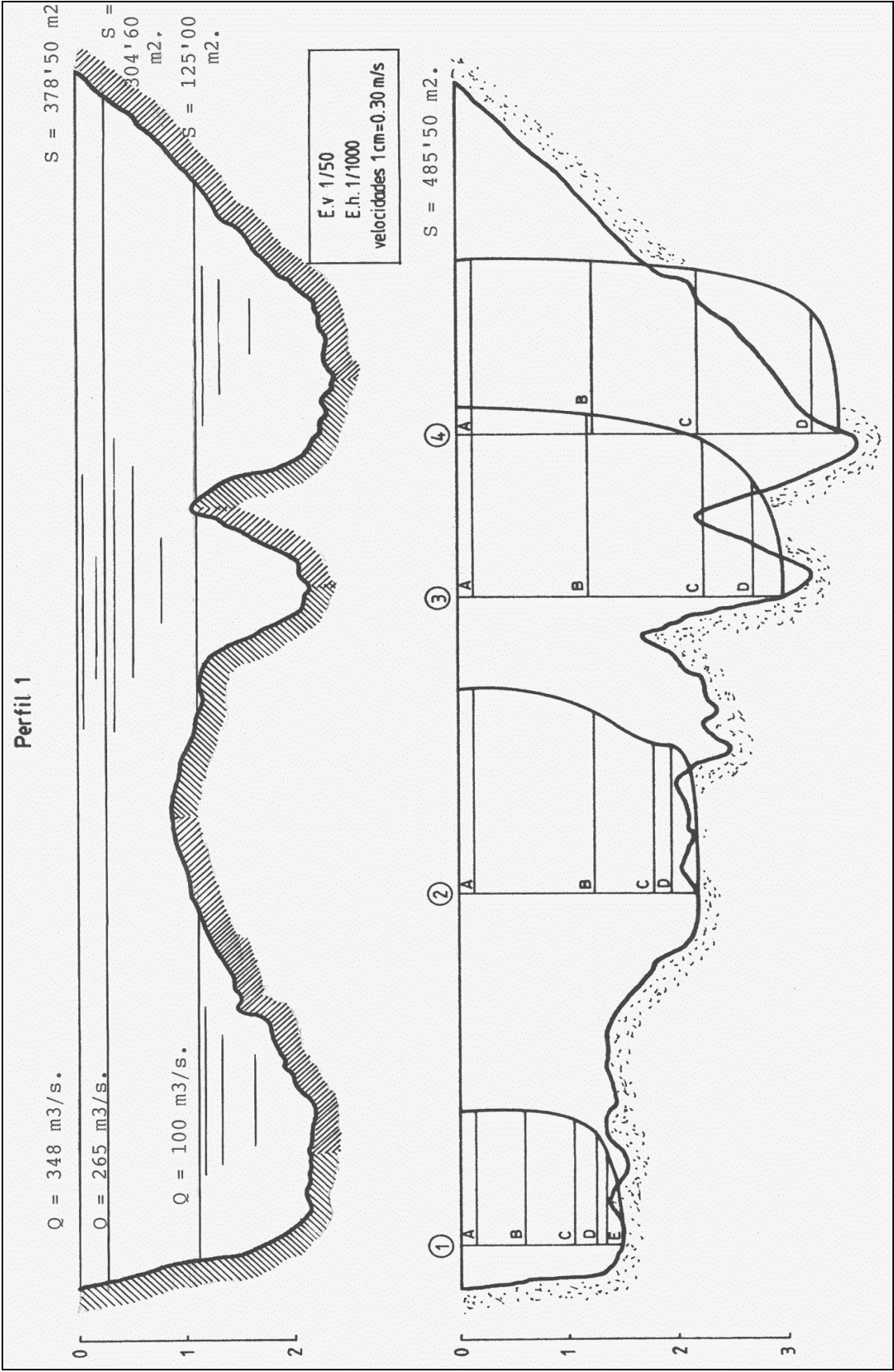
PERFIL 16



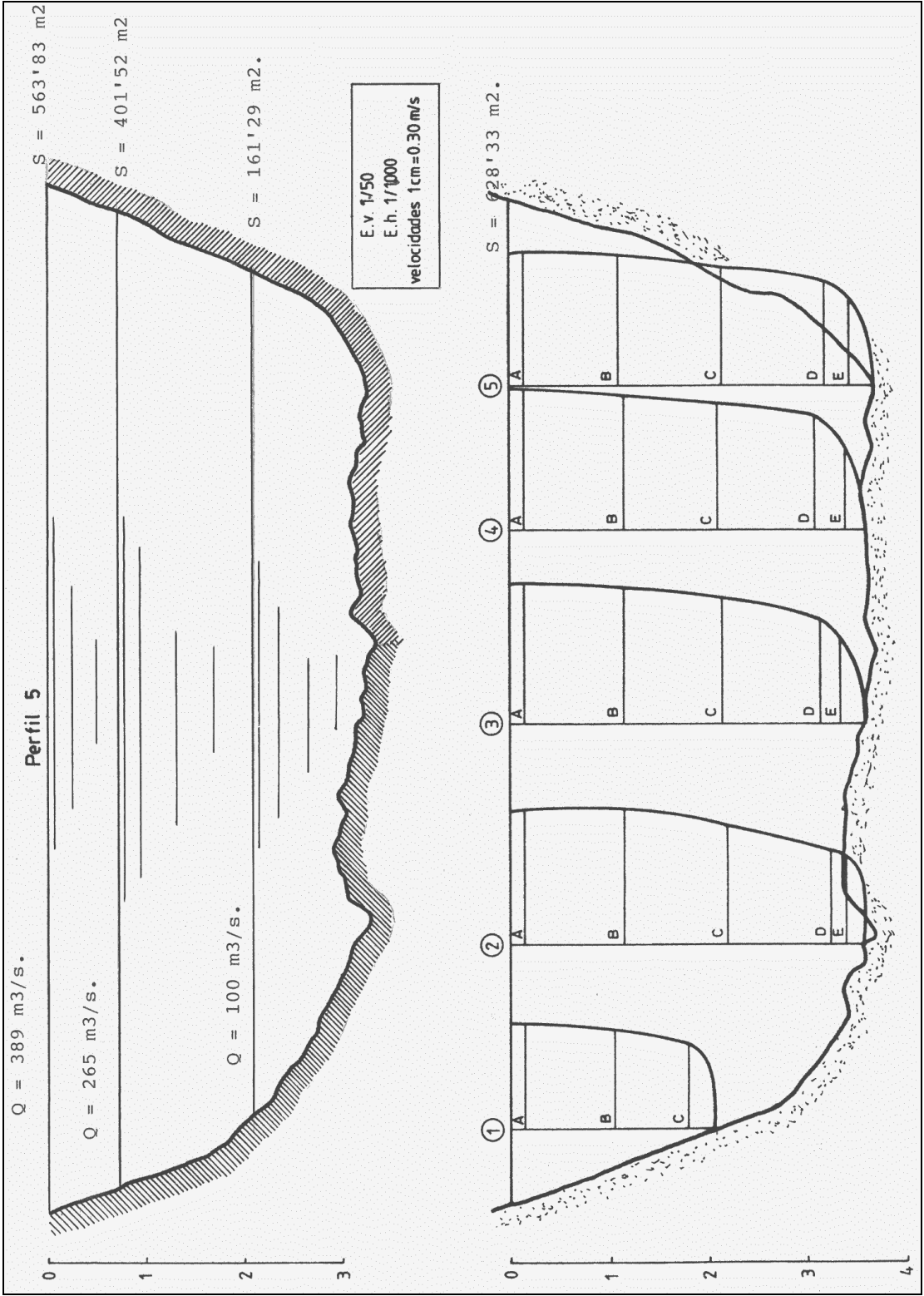
PERFIL 19



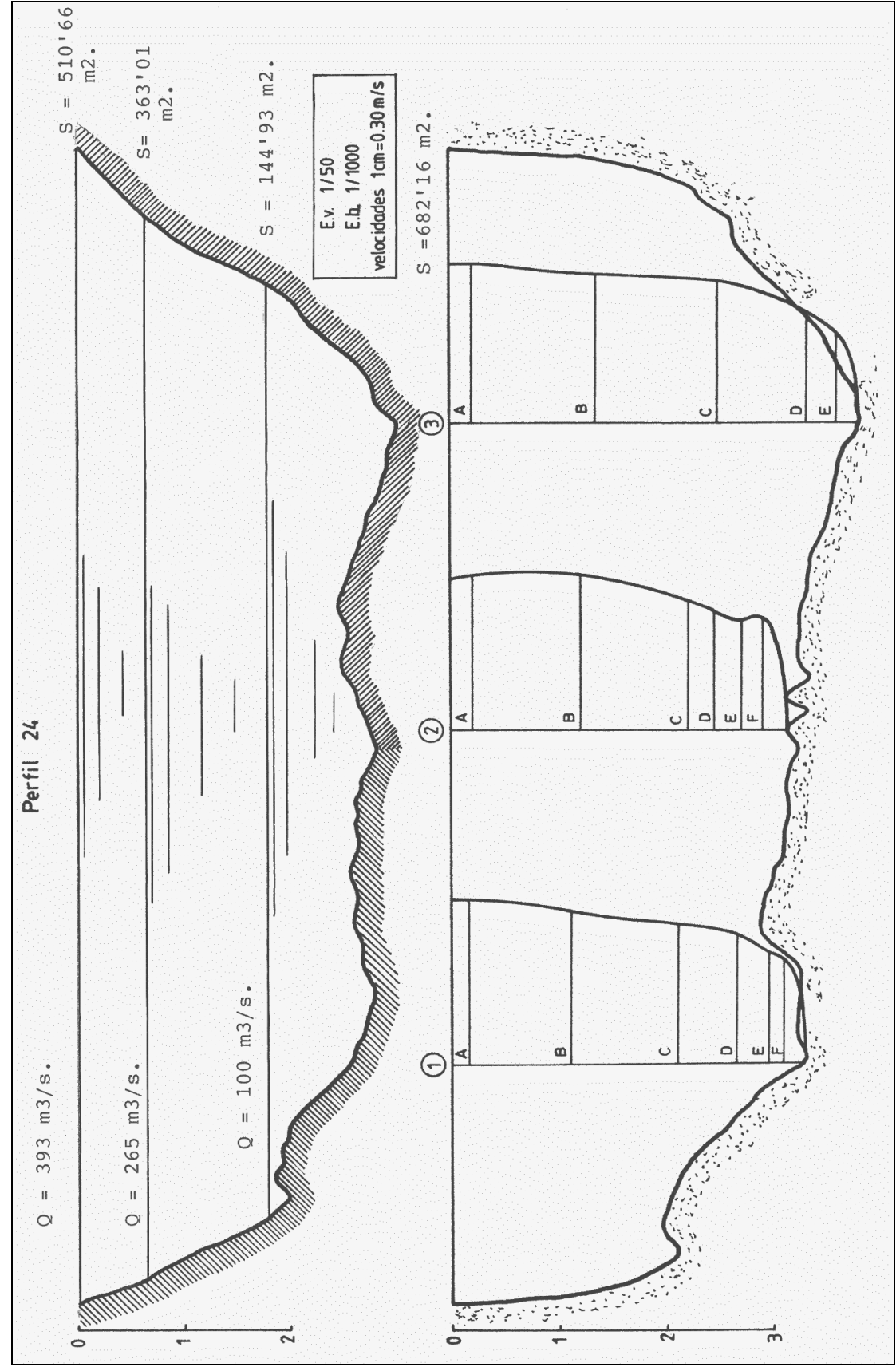
PERFIL 23



PERFIL 1



PERFIL 5



PERFIL 24

3. VELOCIDADES DEL AGUA EN CADA PERFIL

\bar{V} = velocidad media a perfil lleno (medición de 1985)

V_{269} = velocidad media para $Q = 269 \text{ m}^3/\text{seg.}$

V_{265} = velocidad media para $Q = 265 \text{ m}^3/\text{seg.}$

V_{100} = velocidad media para $Q = 100 \text{ m}^3/\text{seg.}$

245

PERFIL 24 (17)

1	A	0,96 m/s.	2	A	0,91 m/s.	3	A	0,93 m/s.
	B	0,89 m/s.		B	0,91 m/s.		B	0,87 m/s.
	C	0,81 m/s.		C	0,76 m/s.		C	0,83 m/s.
	D	0,76 m/s.		D	0,70 m/s.		D	0,65 m/s.
	E	0,65 m/s.		E	0,64 m/s.		E	0,52 m/s.
	F	0,62 m/s.		F	0,65 m/s.			

$$\overline{V} = 0'77 \text{ m/seg.}$$
$$V_{265} = 0'73 \text{ m/seg.}$$
$$V_{100} = 0'69 \text{ m/seg.}$$

ANEXO 3

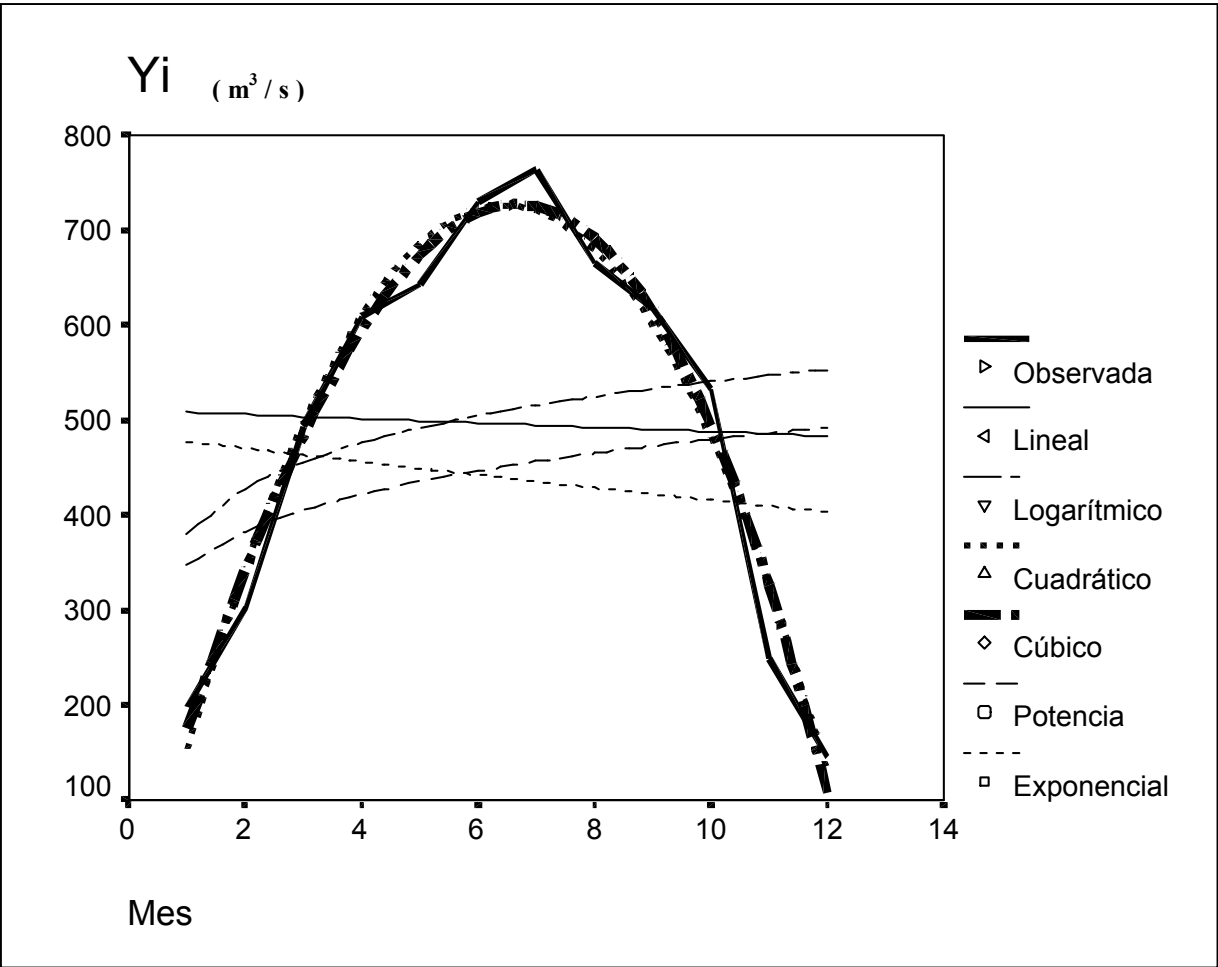
PROPUESTA DE GESTIÓN DE CAUDALES EN EL TRAMO INFERIOR DEL RÍO EBRO

1. FUNCIÓN DEL CAUDAL MEDIO

MODEL: Yi

Independiente : Mes

Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2
b3								
Yi	LIN	.001	10	.01	.908	510.621	-2.2622	
Yi	LOG	.060	10	.64	.444	379.137	70.1124	
Yi	QUA	.968	9	133.97	.000	-75.977	249.137	-19.338
Yi	CUB	.972	8	90.93	.000	-18.263	204.530	-11.093
.4228								-
Yi	POW	.036	10	.37	.557	347.264	.1406	
Yi	EXP	.010	10	.10	.759	485.288	-.0155	



MODEL: **Yi**Dependent variable.. **Yi** Method.. **CUADRÁTICO**

Multiple R .98362
 R Square .96750
 Adjusted R Square .96028
 Standard Error 43.19238

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	499862.68	249931.34
Residuals	9	16790.23	1865.58

F = 133.96967 Signif F = .0000

----- **Variables in the Equation** -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
Mes	249.137113	15.788358	4.144833	15.780	.0000
Mes**2	-19.338412	1.182281	-4.296409	-16.357	.0000
(Constant)	-75.977273	44.640567		-1.702	.1230

Dependent variable.. **Yi** Method.. **CÚBICO**

Multiple R .98565
 R Square .97151
 Adjusted R Square .96083
 Standard Error 42.89447

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	3	501933.43	167311.14
Residuals	8	14719.48	1839.94

F = 90.93317 Signif F = .0000

----- **Variables in the Equation** -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
Mes	204.529822	44.876079	3.402712	4.558	.0019
Mes**2	-11.093462	7.860057	-2.464631	-1.411	.1958
Mes**3	-.422818	.398557	-1.124039	-1.061	.3197
(Constant)	-18.262626	70.178910		-.260	.8013

Se han obtenido las dos expresiones polinómicas siguientes:

$$a) Q = -19'338 \times t^2 + 249'137 \times t - 75'977 \text{ (cuadrática)}$$

$$b) Q = -0'4228 \times t^3 - 11'093 \times t^2 + 204'53 \times t - 18'263 \text{ (cúbica)}$$

que poseen parámetros parecidos de fiabilidad estadística (R y F), como puede comprobarse en el cuadro correspondiente del análisis de la varianza.

El caudal medio anual vendrá dado, en ambos casos, por:

a)

$$\begin{aligned} \int_0^{12} (-19'338 \times t^2 + 249'137 \times t - 75'977) dt &= \\ = \left[-6'446 \times t^3 + 124'569 \times t^2 - 75'977 \times t \right]_0^{12} &= 5.887'524 \\ \bar{y} = \frac{5.887'524}{12 - 0} &= 490'6 \text{ m}^3 / \text{seg.} \end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned} \int_0^{12} (-0'4228 \times t^3 - 11'093 \times t^2 + 204'53 \times t - 18'263) dt &= \\ = \left[-0'1057 \times t^4 - 3'698 \times t^3 + 102'265 \times t^2 - 18'263 \times t \right]_0^{12} &= 5.925'06 \\ \bar{y} = \frac{5.925'06}{12 - 0} &= 493'8 \text{ m}^3 / \text{seg.} \end{aligned}$$

Como puede observarse, se aproxima algo más la función cúbica que la cuadrática al valor teórico medio estimado $\bar{y} = 496 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Del estudio de los extremos relativos o locales de estas funciones se deduce que:

a) Función cuadrática: Condición necesaria o de primer grado:

$Q'(t) = -38'676 \times t + 249'137 = 0$; de dónde: $t = 6'44$, que correspondería al día: $6'44 \times 30'4375 = 196$ a partir del 1 de septiembre, o sea, al 15 de marzo, en que tendría lugar un máximo local, puesto que:

$$Q''(t) = -38'676 < 0$$

A este punto le correspondería un caudal de:

$Q = -19'338 \times 6'44^2 + 249'137 \times 6'44 - 75'977 = 726'5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (en la estimación aproximada del anexo 1, se alcanza un caudal máximo de $726'37 \text{ m}^3/\text{seg.}$ el día 28 de febrero).

b) Función cúbica: Del mismo modo, se tendrá:

$$Q'(t) = -1'2684 \times t^2 - 22'186 \times t + 204'53 = 0$$

Se trata, pues, de resolver la ecuación:

$$1'2684 \times t^2 + 22'186 \times t - 204'53 = 0;$$

$$t = \frac{-22'186 \pm \sqrt{22'186^2 + 1.037'7034}}{2'5368} = 6'673 ,$$

que correspondería al día: $6'673 \times 30'4375 = 203$ a partir del 1 de septiembre, o sea, al 22 de marzo, en que tendría lugar un máximo local, puesto que:

$$Q''(t) = -2'5368 \times t - 22'186 < 0 \text{ (condición suficiente o de 2º grado)}$$

A este punto le correspondería un caudal de:

$$Q = -0'4228 \times 6'673^3 - 11'093 \times 6'673^2 + 204'53 \times 6'673 - 18'263 = 727'0 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

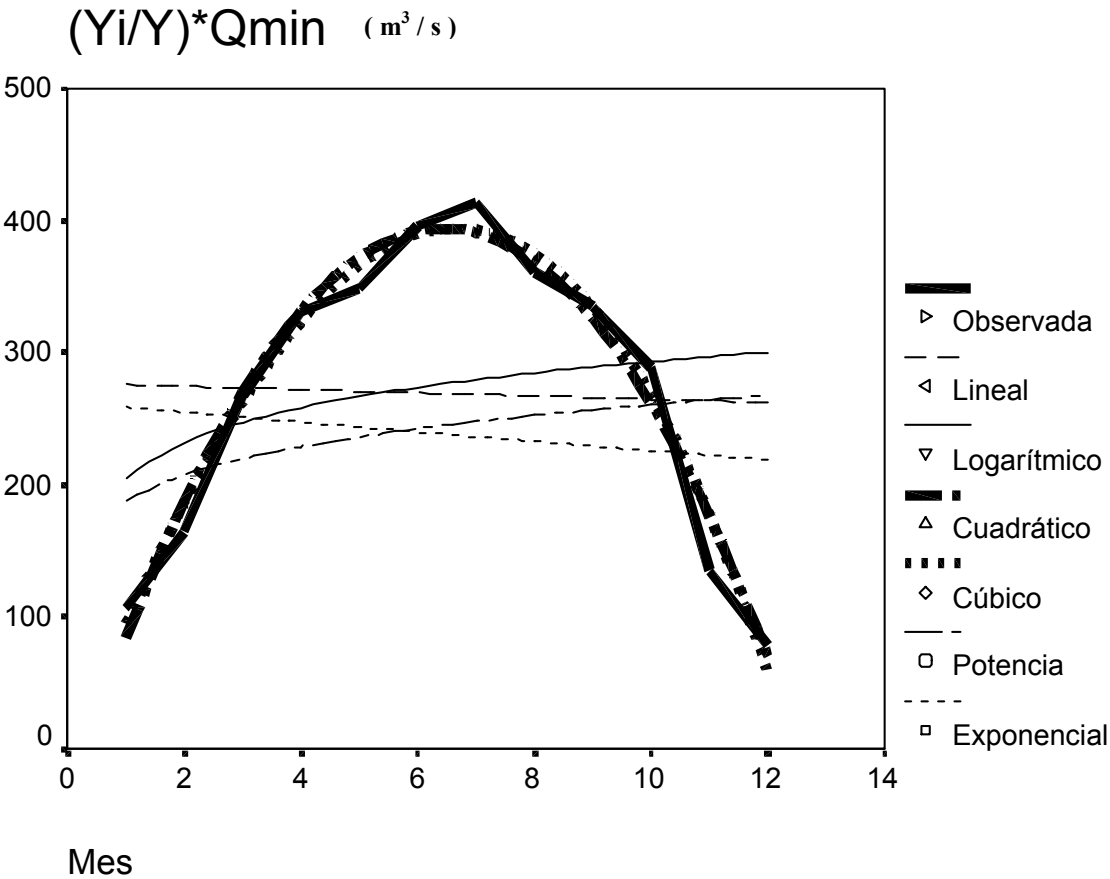
c) En cualquier caso, la representación mensual tabular y gráfica aproximada de estos caudales correspondientes a la función cuadrática, puede verse en el anterior anexo 1, tanto para la escala antigua como para la nueva. Dichas representaciones indican la distribución anual teórica de los respectivos caudales analizados.

2. FUNCIÓN DEL CAUDAL MÍNIMO

MODEL: $(Y_i/\bar{Y}) * Q_{min}$

Independiente: Mes

Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2
b3								
$(Y_i/Y) * Q_{min}$	LIN	.001	10	.01	.908	276.909	-1.2168	
$(Y_i/Y) * Q_{min}$	LOG	.060	10	.64	.443	205.531	38.1058	
$(Y_i/Y) * Q_{min}$	QUA	.968	9	135.64	.000	-41.273	135.147	-10.490
$(Y_i/Y) * Q_{min}$	CUB	.972	8	91.64	.000	-10.657	111.484	-6.1158
.2243								
$(Y_i/Y) * Q_{min}$	POW	.036	10	.38	.553	188.006	.1418	
$(Y_i/Y) * Q_{min}$	EXP	.010	10	.10	.763	262.870	-.0152	



MODEL: $(Y_i/Y) * Q_{min}$ Dependent variable.. $(Y_i/Y) * Q_{min}$

Method.. CUADRÁTICO

Multiple R .98381
 R Square .96789
 Adjusted R Square .96075
 Standard Error 23.28360

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	147064.87	73532.434
Residuals	9	4879.13	542.126

F = 135.63720 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
Mes	135.146853	8.510987	4.146028	15.879	.0000
Mes**2	-10.489510	.637329	-4.297320	-16.459	.0000
Constante	-41.272727	24.064268		-1.715	.1205

Dependent variable.. $(Y_i/Y) * Q_{min}$

Method.. CÚBICO

Multiple R .98576
 R Square .97172
 Adjusted R Square .96112
 Standard Error 23.17438

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	3	147647.58	49215.861
Residuals	8	4296.42	537.052

F = 91.64076 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
Mes	111.483812	24.244979	3.420094	4.598	.0018
Mes**2	-6.115773	4.246514	-2.505497	-1.440	.1878
Mes**3	-.224294	.215327	-1.099522	-1.042	.3280
(Constant)	-10.656566	37.915216		-.281	.7858

Se han obtenido las dos expresiones polinómicas siguientes:

a) $Q = -10'49 \times t^2 + 135'147 \times t - 41'273$ (cuadrática)

b) $Q = -0'2243 \times t^3 - 6'1158 \times t^2 + 111'484 \times t - 10'657$ (cúbica)

que poseen parámetros parecidos de fiabilidad estadística (R y F), como puede comprobarse en el cuadro correspondiente del análisis de la varianza.

El caudal mínimo anual vendrá dado, en ambos casos, por:

a)

$$\begin{aligned} \int_0^{12} (-10'49 \times t^2 + 135'147 \times t - 41'273) dt &= \\ = \left[-3'5 \times t^3 + 67'57 \times t^2 - 41'273 \times t \right]_0^{12} &= 3.187'31 \\ \bar{y} = \frac{3.187'31}{12 - 0} &= 265'6 \text{ m}^3 / \text{seg}. \end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned} \int_0^{12} (-0'2243 \times t^3 - 6'1158 \times t^2 + 111'484 \times t - 10'657) dt &= \\ = \left[-0'056 \times t^4 - 2'039 \times t^3 + 55'742 \times t^2 - 10'657 \times t \right]_0^{12} &= 3.214'36 \\ \bar{y} = \frac{3.214'36}{12 - 0} &= 267'9 \text{ m}^3 / \text{seg}. \end{aligned}$$

También en este caso, como puede observarse, se aproxima algo más la función cúbica que la cuadrática al valor teórico medio estimado: $\bar{y} = 269 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Del estudio de los extremos relativos o locales de estas funciones se deduce que:

a) Función cuadrática: Condición necesaria o de primer grado:

$Q'(t) = -20'98 \times t + 135'147 = 0$; de dónde: $t = 6'44$, que, como en el caso de la función de caudal medio, correspondería al día 15 de marzo, en que tendría lugar un máximo local, puesto que:

$$Q''(t) = -20'98 < 0 \text{ (condición suficiente o de 2º grado)}$$

A este punto le correspondería un caudal de:

$Q = -10'49 \times 6'44^2 + 135'147 \times 6'44 - 41'273 = 394'0 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (en la estimación aproximada del anexo 1, se alcanza un máximo de $393'98 \text{ m}^3/\text{seg.}$ el día 28 de febrero).

b) Función cúbica: Del mismo modo, se tendrá:

$$Q'(t) = -0'6729 \times t^2 - 12'2316 \times t + 111'484 = 0$$

Se trata, pues, de resolver la ecuación:

$$0'6729 \times t^2 + 12'2316 \times t - 111'484 = 0;$$

$$t = \frac{-12'2316 \pm \sqrt{12'2316^2 + 300'07}}{1'3458} = 6'668 ,$$

que también correspondería al día 22 de marzo, en que tendría lugar un máximo local, puesto que:

$$Q''(t) = -1'3458 \times t - 12'2316 < 0 \text{ (condición suficiente o de 2º grado)}$$

A este punto le correspondería un caudal de:

$$Q = -0'2243 \times 6'668^3 - 6'1158 \times 6'668^2 + 111'484 \times 6'668 - 10'657 = 394'3 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

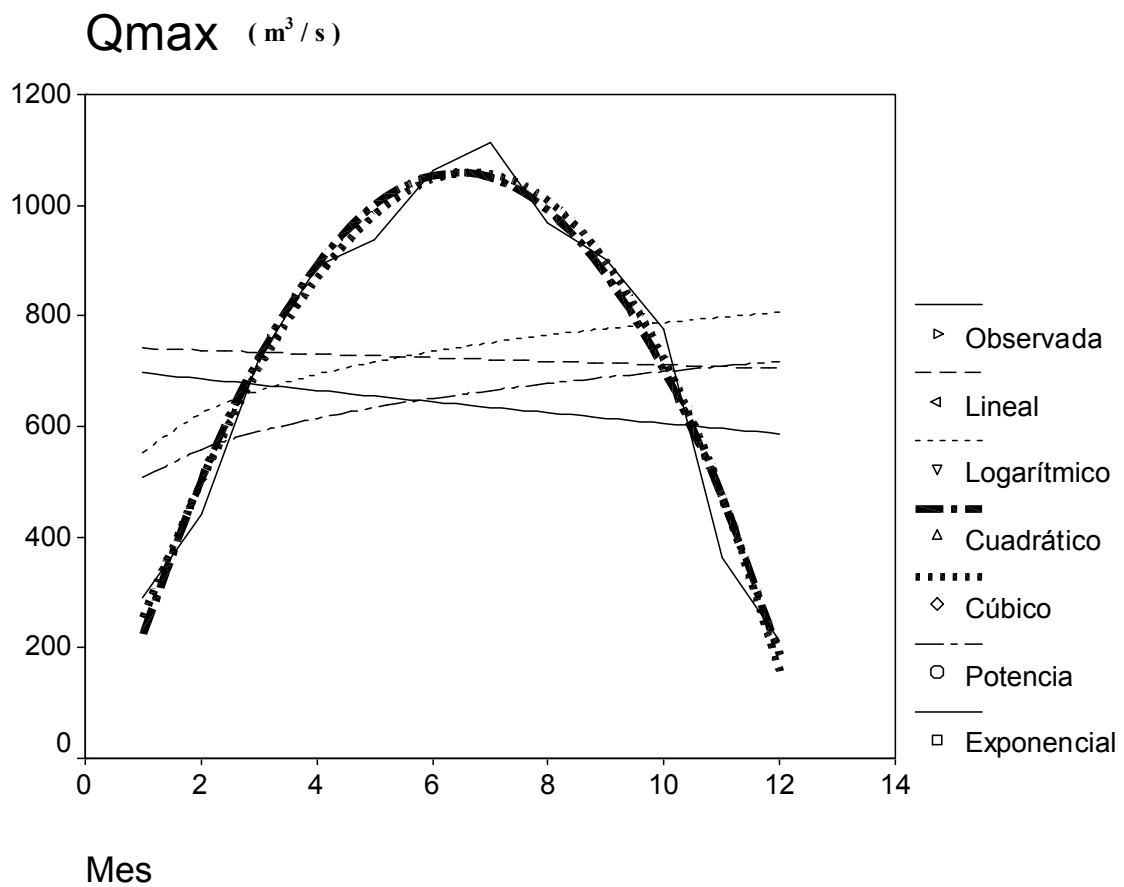
c) En cualquier caso, la representación mensual tabular y gráfica aproximada de estos caudales correspondientes a la función cuadrática, puede verse en el anterior anexo 1, tanto para la escala antigua como para la nueva. Dichas representaciones indican la distribución anual teórica de los respectivos caudales analizados.

3. FUNCIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO

MODEL: Q_{\max}

Independent: Mes

Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2
QMAX	LIN	,001	10	,01	,907	744,333	-3,3077	
QMAX	LOG	,060	10	,63	,444	552,744	102,119	
QMAX	QUA	,967	9	133,35	,000	-110,68	363,127	-28,187
QMAX	CUB	,971	8	90,67	,000	-25,869	297,576	-16,071
,6213								
QMAX	POW	,035	10	,37	,558	506,522	,1402	
QMAX	EXP	,010	10	,10	,758	707,707	-,0155	



MODEL: Q_{\max} Dependent variable : Q_{\max}

Method.. CUADRÁTICO

Multiple R .98354
 R Square .96736
 Adjusted R Square .96010
 Standard Error 63.10277

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	1061990.0	530995.02
Residuals	9	35837.6	3981.96

F = 133.35019 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
MES	363.127373	23.066317	4.144383	15.743	.0000
MES**2	-28.187313	1.727277	-4.296065	-16.319	.0000
(Constant)	-110.681818	65.218529		-1.697	.1239

Dependent variable.. Q_{\max}

Method.. CÚBICO

Multiple R .98561
 R Square .97143
 Adjusted R Square .96072
 Standard Error 62.61573

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	3	1066461.8	355487.28
Residuals	8	31365.8	3920.73

F = 90.66865 Signif F = .0000

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
Mes	297.575832	65.508412	3.396242	4.543	.0019
Mes**2	-16.071151	11.473815	-2.449425	-1.401	.1989
Mes**3	-.621342	.581799	-1.133159	-1.068	.3167
(Constant)	-25.868687	102.444534		-.253	.8070

En la columna (5) de la tabla adjunta de gestión de caudales en el tramo inferior del río Ebro, se deducen los caudales máximos normales en régimen natural, calculados a partir de las determinaciones ya efectuadas de los caudales medios y mínimos. A partir de esos valores variables de los caudales máximos, se puede considerar que existen “avenidas” controladas o no en el tramo final del río Ebro, con valores máximos de 1.114 m³/seg. para el mes de marzo y mínimos de 211 m³/seg. para el mes de agosto. Este concepto -también variable- de “avenida” resulta comparable al constante o estático supuesto por l’*Agència Catalana de l’Aigua* (Generalitat de Catalunya) o bien por la propia Confederación Hidrográfica del Ebro (Ministerio del Medio Ambiente) a los efectos del control de la calidad del agua, esto es, que no se observan valores negativos en los parámetros de control de dicha calidad por debajo de un valor umbral del caudal circulante por el río de 1.000 m³/seg. Así pues, a la vista de nuestras determinaciones, así como de los peligros o riesgos latentes que entrañan los vertidos descubiertos en el embalse de Flix, entendemos que el umbral analítico a adoptar en lo sucesivo debería adaptarse precisamente al propuesto en nuestro estudio.

Siguiendo la misma metodología, habrá que calcular las funciones de ajuste cuadrática y cúbica, habiéndose obtenido, respectivamente, las dos expresiones polinómicas siguientes:

$$a) \quad Q = -28'187 \times t^2 + 363'127 \times t - 110'68 \text{ (cuadrática)}$$

$$b) \quad Q = -0'6213 \times t^3 - 16'071 \times t^2 + 297'576 \times t - 25'869 \text{ (cúbica)}$$

que poseen parámetros parecidos de fiabilidad estadística (R y F), como puede comprobarse en el cuadro correspondiente del análisis de la varianza.

El caudal máximo anual vendrá dado, en ambos casos, por:

a)

$$\begin{aligned} & \int_0^{12} (-28'197 \times t^2 + 363'127 \times t - 110'68) dt = \\ & = \left[-9'399 \times t^3 + 181'56 \times t^2 - 110'68 \times t \right]_0^{12} = 8.575'01 \\ & \bar{y} = \frac{8.575'01}{12 - 0} = 714'6 \text{ m}^3 / \text{seg.} \end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned} & \int_0^{12} (-0'6213 \times t^3 - 16'071 \times t^2 + 297'576 \times t - 25'869) dt = \\ & = \left[-0'155 \times t^4 - 5'357 \times t^3 + 148'788 \times t^2 - 25'869 \times t \right]_0^{12} = 8.644'07 \\ & \bar{y} = \frac{8.644'07}{12 - 0} = 720'3 \text{ m}^3 / \text{seg.} \end{aligned}$$

También en este caso, como puede observarse, se aproxima algo más la función cúbica que la cuadrática al valor teórico medio estimado: $\bar{y} = 723 \text{ m}^3/\text{seg}$. Del estudio de los extremos relativos o locales de estas funciones se deduce que:

a) Función cuadrática: Condición necesaria o de primer grado:

$Q'(t) = -56'374 \times t + 363'127 = 0$; de dónde: $t = 6'44$, que, como en el caso de la función de caudal medio, correspondería al día 15 de marzo, en que tendría lugar un máximo local, puesto que:

$$Q''(t) = -56'374 < 0.$$

A este punto le correspondería un caudal de:

$Q = -28'187 \times 6'44^2 + 363'127 \times 6'44 - 110'68 = 1.058'8 \text{ m}^3/\text{seg}$. (en la estimación aproximada del anexo 1, se alcanza un caudal máximo de $1.058'76 \text{ m}^3/\text{seg}$. el día 28 de febrero).

b) Función cúbica: Del mismo modo, se tendrá:

$$Q'(t) = -1'8639 \times t^2 - 32'142 \times t + 297'576 = 0$$

Se trata, pues, de resolver la ecuación:

$$1'8639 \times t^2 + 32'142 \times t - 297'576 = 0;$$

$$t = \frac{-32'142 \pm \sqrt{32'142^2 + 2.218'61}}{3'7278} = 6'675 ,$$

que también correspondería al día 22 de marzo, en que tendría lugar un máximo local, puesto que:

$$Q''(t) = -1'3458 \times t - 12'2316 < 0 \text{ (condición suficiente o de 2º grado)}$$

A este punto le correspondería un caudal de:

$$Q = -0'6213 \times 6'675^3 - 16'071 \times 6'675^2 + 297'576 \times 6'675 - 25'869 = 1.059'6 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

OBSERVACIONES: En todos los casos estudiados, las funciones polinómicas estudiadas tienen el coeficiente dominante (el del término de mayor grado) negativo y son cóncavas con respecto a las Q^+ en todo el intervalo de existencia. Al igual que para las funciones anteriores de caudal, véase el anexo nº: 1.

4. ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS CAUDALES EN EL PERIODO 1966-85

4.1. Tablas auxiliares del cálculo

Se parte de la tabla de datos siguiente:

Caudales: 12 meses
Años: 1966 a 1985

Coefficiente: 1,000
Estación: Tortosa, N°: 027

Item	x_i (m ³ /seg.)	n_i	Ni↑ Ascendente	% frecuencia simple f_i	% frecuencia acumulada ascendente F_i ↑	Ni↓ Descendente	% frecuencia acumulada descendente F_i ↓	Observaciones
1	72,10	145	145	1,99	1,99	7.154	98,01	
2	85,06	146	291	2,00	3,99	7.008	96,01	
3	91,75	146	437	2,00	5,99	6.862	94,01	(Hay un 5% de probabilidad de obtener un caudal < 88,4 m ³ /seg , o bien un 95% de que sea ≥ 88,4m ³ /seg.)
4	99,81	146	583	2,00	7,99	6.716	92,01	
5	108,54	146	729	2,00	9,99	6.570	90,01	
6	115,61	146	875	2,00	11,99	6.424	88,01	
7	124,35	146	1.021	2,00	13,99	6.278	86,01	
8	134,51	146	1.167	2,00	15,99	6.132	84,01	
9	142,68	146	1.313	2,00	17,99	5.986	82,01	
10	153,38	146	1.459	2,00	19,99	5.840	80,01	
11	163,14	146	1.605	2,00	21,99	5.694	78,01	
12	173,69	146	1.751	2,00	23,99	5.548	76,01	
13	183,50	146	1.897	2,00	25,99	5.402	74,01	
14	193,67	146	2.043	2,00	27,99	5.256	72,01	
15	204,19	146	2.189	2,00	29,99	5.110	70,01	
16	211,37	146	2.335	2,00	31,99	4.964	68,01	
17	219,27	146	2.481	2,00	33,99	4.818	66,01	
18	228,96	146	2.627	2,00	35,99	4.672	64,01	
19	241,91	146	2.773	2,00	37,99	4.526	62,01	
20	254,78	146	2.919	2,00	39,99	4.380	60,01	
21	267,25	146	3.065	2,00	41,99	4.234	58,01	
22	278,98	146	3.211	2,00	43,99	4.088	56,01	
23	288,68	146	3.357	2,00	45,99	3.942	54,01	
24	301,64	146	3.503	2,00	47,99	3.796	52,01	
25	314,44	146	3.649	2,00	49,99	3.650	50,01	
26	326,02	146	3.795	2,00	51,99	3.504	48,01	(Hay un 50% de probabilidad de obtener un caudal < 315 m ³ /seg.)
27	339,94	146	3.941	2,00	53,99	3.358	46,01	
28	355,16	146	4.087	2,00	55,99	3.212	44,01	

Item	x_i (m ³ /seg.)	n_i	Ni↑ Ascend.	% frecuencia simple f_i	% frec. acumul. Ascend. $Fi \uparrow$	Ni↓ Descend.	% frec. acumul. Descend. $Fi \downarrow$	Observaciones
29	371,71	146	4.233	2,00	57,99	3.066	42,01	
30	390,08	146	4.379	2,00	59,99	2.920	40,01	
31	408,03	146	4.525	2,00	61,99	2.774	38,01	
32	429,12	146	4.671	2,00	63,99	2.628	36,01	
33	448,34	146	4.817	2,00	65,99	2.482	34,01	(Asimetría o sesgo)
								(Hay un 65% de probabilidad de obtener un caudal $< \bar{X} = 436,36$ m ³ /seg. , o bien un 35 % de que sea $\geq \bar{X} = 436,36$ m ³ /seg.)
34	471,62	146	4.963	2,00	67,99	2.336	32,01	
35	494,83	146	5.109	2,00	69,99	2.190	30,01	
36	521,53	146	5.255	2,00	71,99	2.044	28,01	
37	548,85	146	5.401	2,00	73,99	1.898	26,01	
38	576,16	146	5.547	2,00	75,99	1.752	24,01	
39	604,42	146	5.693	2,00	77,99	1.606	22,01	
40	632,34	146	5.839	2,00	79,99	1.460	20,01	
41	665,34	146	5.985	2,00	81,99	1.314	18,01	
42	700,72	146	6.131	2,00	83,99	1.168	16,01	
43	742,71	146	6.277	2,00	85,99	1.022	14,01	
44	797,89	146	6.423	2,00	87,99	876	12,01	
45	857,05	146	6569	2,00	89,99	730	10,01	
								(Hay un 91% de probabilidad de obtener un caudal < 887 m ³ /seg.)
46	916,72	146	6.715	2,00	91,99	584	8,01	
47	999,61	146	6.861	2,00	93,99	438	6,01	
								(Hay un 95% de probabilidad de obtener un caudal < 1.073 m ³ /seg.)
48	1.145,56	146	7.007	2,00	95,99	292	4,01	
49	1.398,33	146	7.153	2,00	97,99	146	2,01	
50	2.022,46	146	7.299	2,00	99,99	0	0,01	
$\Sigma =$	21.817'80	N = 7.299		99,99				
		Media aritmética		$\bar{X} = 436,36$	m³/seg.			
20 años x 365 días/año = 7.300 estimaciones								

Tabla A3-1. Clasificación de los caudales diarios del río Ebro, en el periodo 1966-85, en Tortosa.

Por otra parte, la distribución mensual de los caudales en el periodo analizado también puede verse en la tabla siguiente:

Año	m ³ /seg.
Septiembre	217,79
Octubre	273,23
Noviembre	445,20
Diciembre	483,48
Enero	582,72
Febrero	698,52
Marzo	624,31
Abril	562,06
Mayo	520,46
Junio	492,53
Julio	224,28
Agosto	143,05
Q. Medio	436,36

Tabla A3-2. Caudales medios mensuales del periodo 1966-85.

El ajuste minimocuadrático a una parábola de sexto grado, con $R^2 = 0,9529$, puede verse gráficamente en el texto de nuestro Informe.

Con todos los datos relacionados, es posible configurar las tablas auxiliares de cálculo siguientes:

Caudales: 12 meses
Años: 1966 a 1985
Coefficiente: 1,000

Item	x_i	n_i	% frecuencia simple f_i	$N_i \uparrow$	$N_i \downarrow$	$x_i * n_i$	$x_i^2 * n_i$	n_i/x_i	$\log x_i$	$n_i * \log x_i$
1	72,10	145	1,99	145,00	7.154,00	10.454,50	753.769,45	2,01	1,8579	269,40
2	85,06	146	2,00	291,00	7.008,00	12.418,76	1.056.339,73	1,72	1,9297	281,74
3	91,75	146	2,00	437,00	6.862,00	13.395,50	1.229.037,13	1,59	1,9626	286,54
4	99,81	146	2,00	583,00	6.716,00	14.572,26	1.454.457,27	1,46	1,9992	291,88
5	108,54	146	2,00	729,00	6.570,00	15.846,84	1.720.016,01	1,35	2,0356	297,20
6	115,61	146	2,00	875,00	6.424,00	16.879,06	1.951.388,13	1,26	2,0630	301,20
7	124,35	146	2,00	1.021,00	6.278,00	18.155,10	2.257.586,69	1,17	2,0946	305,82
8	134,51	146	2,00	1.167,00	6.132,00	19.638,46	2.641.569,25	1,09	2,1288	310,80
9	142,68	146	2,00	1.313,00	5.986,00	20.831,28	2.972.207,03	1,02	2,1544	314,54
10	153,38	146	2,00	1.459,00	5.840,00	22.393,48	3.434.711,96	0,95	2,1858	319,12
11	163,14	146	2,00	1.605,00	5.694,00	23.818,44	3.885.740,30	0,89	2,2126	323,03
12	173,69	146	2,00	1.751,00	5.548,00	25.358,74	4.404.559,55	0,84	2,2398	327,01
13	183,50	146	2,00	1.897,00	5.402,00	26.791,00	4.916.148,50	0,80	2,2636	330,49
14	193,67	146	2,00	2.043,00	5.256,00	28.275,82	5.476.178,06	0,75	2,2871	333,91
15	204,19	146	2,00	2.189,00	5.110,00	29.811,74	6.087.259,19	0,72	2,3100	337,27
16	211,37	146	2,00	2.335,00	4.964,00	30.860,02	6.522.882,43	0,69	2,3250	339,46

Item	x_i	n_i	% frecuencia simple f_i	$N_i \uparrow$	$N_i \downarrow$	$x_i * n_i$	$x_i^2 * n_i$	n_i/x_i	$\log x_i$	$n_i * \log x_i$
17	219,27	146	2,00	2.481,00	4.818,00	32.013,42	7.019.582,60	0,67	2,3410	341,78
18	228,96	146	2,00	2.627,00	4.672,00	33.428,16	7.653.711,51	0,64	2,3598	344,52
19	241,91	146	2,00	2.773,00	4.526,00	35.318,86	8.543.985,42	0,60	2,3837	348,01
20	254,78	146	2,00	2.919,00	4.380,00	37.197,88	9.477.275,87	0,57	2,4062	351,30
21	267,25	146	2,00	3.065,00	4.234,00	39.018,50	10.427.694,13	0,55	2,4269	354,33
22	278,98	146	2,00	3.211,00	4.088,00	40.731,08	11.363.156,70	0,52	2,4456	357,05
23	288,68	146	2,00	3.357,00	3.942,00	42.147,28	12.167.076,79	0,51	2,4604	359,22
24	301,64	146	2,00	3.503,00	3.796,00	44.039,44	13.284.056,68	0,48	2,4795	362,01
25	314,44	146	2,00	3.649,00	3.650,00	45.908,24	14.435.386,99	0,46	2,4975	364,64
26	326,02	146	2,00	3.795,00	3.504,00	47.598,92	15.518.199,90	0,45	2,5132	366,93
27	339,94	146	2,00	3.941,00	3.358,00	49.631,24	16.871.643,73	0,43	2,5314	369,58
28	355,16	146	2,00	4.087,00	3.212,00	51.853,36	18.416.239,34	0,41	2,5504	372,36
29	371,71	146	2,00	4.233,00	3.066,00	54.269,66	20.172.575,32	0,39	2,5702	375,25
30	390,08	146	2,00	4.379,00	2.920,00	56.951,68	22.215.711,33	0,37	2,5912	378,31
31	408,03	146	2,00	4.525,00	2.774,00	59.572,38	24.307.318,21	0,36	2,6107	381,16
32	429,12	146	2,00	4.671,00	2.628,00	62.651,52	26.885.020,26	0,34	2,6326	384,36
33	448,34	146	2,00	4.817,00	2.482,00	65.457,64	29.347.278,32	0,33	2,6516	387,13
34	471,62	146	2,00	4.963,00	2.336,00	68.856,52	32.474.111,96	0,31	2,6736	390,34
35	494,83	146	2,00	5.109,00	2.190,00	72.245,18	35.749.082,42	0,30	2,6945	393,39
36	521,53	146	2,00	5.255,00	2.044,00	76.143,38	39.711.056,97	0,28	2,7173	396,72
37	548,85	146	2,00	5.401,00	1.898,00	80.132,10	43.980.503,09	0,27	2,7395	399,96
38	576,16	146	2,00	5.547,00	1.752,00	84.119,36	48.466.210,46	0,25	2,7605	403,04
39	604,42	146	2,00	5.693,00	1.606,00	88.245,32	53.337.236,31	0,24	2,7813	406,08
40	632,34	146	2,00	5.839,00	1.460,00	92.321,64	58.378.665,84	0,23	2,8010	408,94
41	665,34	146	2,00	5.985,00	1.314,00	97.139,64	64.630.888,08	0,22	2,8230	412,16
42	700,72	146	2,00	6.131,00	1.168,00	102.305,12	71.687.243,69	0,21	2,8455	415,45
43	742,71	146	2,00	6.277,00	1.022,00	108.435,66	80.536.249,04	0,20	2,8708	419,14
44	797,89	146	2,00	6.423,00	876,00	116.491,94	92.947.754,01	0,18	2,9019	423,68
45	857,05	146	2,00	6.569,00	730,00	125.129,30	107.242.066,57	0,17	2,9330	428,22
46	916,72	146	2,00	6.715,00	584,00	133.841,12	122.694.831,53	0,16	2,9622	432,49
47	999,61	146	2,00	6.861,00	438,00	145.943,06	145.886.142,21	0,15	2,9998	437,98
48	1.145,56	146	2,00	7.007,00	292,00	167.251,76	191.596.926,19	0,13	3,0590	446,62
49	1.398,33	146	2,00	7.153,00	146,00	204.156,18	285.477.711,18	0,10	3,1456	459,26
50	2.022,46	146	2,00	7.299,00	0,00	295.279,16	597.190.289,93	0,07	3,3059	482,66
Suma	21.817,80	7.299	99,99			3.185.326,70	2.390.856.733,22	29,86		18.323,48
	Media aritmética:	$\bar{X} = 436,36 \text{ m}^3/\text{seg.}$								

Tabla A3-3. Tabla auxiliar de cálculo-I.

Teóricamente, correspondería realizar, a lo largo de dos décadas: $N = 20$ años $\times 365'25$ días/año = 7.305 estimaciones. La tabla anterior resulta útil para la determinación de diferentes promedios (medias aritmética, cuadrática, geométrica y armónica), mientras la siguiente lo será para el cálculo de otras características relevantes de esta distribución de frecuencias (desviaciones, momentos factoriales, asimetrías, curtosis y coeficientes de uniformidad hidráulica).

PROPUESTA DE GESTIÓN DE CAUDALES EN EL TRAMO INFERIOR DEL RÍO EBRO

Caudales: 12 meses

Años: 1966 a 1985

Coficiente: 1,000

Item	x_i	n_i	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - 436,36)^3 * n_i$	$(x_i - 436,36)^4 * n_i$	$ x_i - \bar{X} * n_i$
1	72,10	145	-364,26	-7.007.904.013,96	2.552.671.084.510,08	52.817,12
2	85,06	146	-351,30	-6.329.544.682,94	2.223.543.728.939,15	51.289,22
3	91,75	146	-344,61	-5.974.772.316,48	2.058.942.388.893,65	50.312,48
4	99,81	146	-336,55	-5.565.268.925,51	1.872.968.995.804,05	49.135,72
5	108,54	146	-327,82	-5.143.317.045,25	1.686.061.620.505,96	47.861,14
6	115,61	146	-320,75	-4.817.665.057,10	1.545.246.796.403,33	46.828,92
7	124,35	146	-312,01	-4.434.469.712,95	1.383.581.157.259,19	45.552,88
8	134,51	146	-301,85	-4.015.218.012,32	1.211.977.496.145,65	44.069,52
9	142,68	146	-293,68	-3.697.926.071,37	1.085.992.136.936,15	42.876,70
10	153,38	146	-282,98	-3.308.275.477,83	936.162.561.613,71	41.314,50
11	163,14	146	-273,22	-2.977.633.501,95	813.537.114.868,19	39.889,54
12	173,69	146	-262,67	-2.645.845.235,79	694.973.584.705,05	38.349,24
13	183,50	146	-252,86	-2.360.329.563,76	596.823.492.172,87	36.916,98
14	193,67	146	-242,69	-2.086.829.784,38	506.444.373.051,71	35.432,16
15	204,19	146	-232,17	-1.827.042.764,19	424.177.210.391,02	33.896,24
16	211,37	146	-224,99	-1.662.720.836,82	374.088.910.191,75	32.847,96
17	219,27	146	-217,09	-1.493.648.149,51	324.250.102.183,46	31.694,56
18	228,96	146	-207,40	-1.302.428.778,30	270.118.518.903,88	30.279,82
19	241,91	146	-194,45	-1.073.371.096,57	208.712.716.243,84	28.389,12
20	254,78	146	-181,58	-874.033.723,61	158.703.547.397,62	26.510,10
21	267,25	146	-169,11	-706.040.975,99	119.395.765.286,29	24.689,48
22	278,98	146	-157,38	-569.073.502,13	89.558.511.472,00	22.976,90
23	288,68	146	-147,68	-470.199.991,55	69.437.253.952,20	21.560,70
24	301,64	146	-134,72	-356.952.471,64	48.087.209.170,12	19.668,54
25	314,44	146	-121,92	-264.566.572,83	32.254.898.293,13	17.799,74
26	326,02	146	-110,34	-196.112.177,67	21.638.233.235,12	16.109,06
27	339,94	146	-96,42	-130.857.972,10	12.616.802.237,74	14.076,74
28	355,16	146	-81,20	-78.154.998,75	6.345.873.278,52	11.854,62
29	371,71	146	-64,65	-39.443.716,57	2.549.878.501,36	9.438,32
30	390,08	146	-46,28	-14.468.392,87	669.539.348,53	6.756,30
31	408,03	146	-28,33	-3.318.246,22	93.992.642,40	4.135,60
32	429,12	146	-7,24	-55.315,71	400.264,51	1.056,46
33	448,34	146	11,98	251.280,19	3.011.341,83	1.749,66
34	471,62	146	35,26	6.402.470,33	225.776.713,58	5.148,54
35	494,83	146	58,47	29.190.481,99	1.706.884.243,62	8.537,20
36	521,53	146	85,17	90.214.009,64	7.683.888.057,47	12.435,40
37	548,85	146	112,49	207.845.647,40	23.381.388.258,49	16.424,12
38	576,16	146	139,80	398.943.733,77	55.773.929.755,95	20.411,38
39	604,42	146	168,06	693.069.748,61	116.480.074.229,78	24.537,34

Item	x_i	n_i	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - 436,36)^3 \cdot n_i$	$(x_i - 436,36)^4 \cdot n_i$	$ x_i - \bar{X} \cdot n_i$
40	632,34	146	195,98	1.099.043.058,65	215.394.854.806,17	28.613,66
41	665,34	146	228,98	1.752.944.913,15	401.396.337.992,45	33.431,66
42	700,72	146	264,36	2.697.489.724,49	713.119.173.525,30	38.597,14
43	742,71	146	306,35	4.197.817.187,40	1.286.018.086.629,26	44.727,68
44	797,89	146	361,53	6.899.224.775,86	2.494.304.330.115,88	52.783,96
45	857,05	146	420,69	10.870.557.311,36	4.573.178.237.545,22	61.421,32
46	916,72	146	480,36	16.183.192.995,80	7.773.823.320.234,67	70.133,14
47	999,61	146	563,25	26.089.497.208,84	14.695.013.660.867,40	82.235,08
48	1.145,56	146	709,20	52.079.449.511,47	36.934.953.911.330,70	103.543,78
49	1.398,33	146	961,97	129.969.922.016,56	125.027.685.761.960,00	140.448,20
50	2.022,46	146	1.586,10	582.569.625.008,29	924.016.012.504.141,00	231.571,18
Suma	21.817,80	7.299	0,00	764.407.191.999,17	1.139.667.781.026.550,00	1.953.136,77
	Media aritmética:		$\bar{X} = 436,36$	m³/seg.		
20 años x 365 días/año = 7.300 estimaciones						

Tabla A3-4. Tabla auxiliar de cálculo-II.

4.2. Otras medidas del valor central

* Mediana:

En el caso de la distribución de frecuencias unitarias contemplada, veamos que su valor es:

$$Me = \frac{314'44 + 326'02}{2} = 320'23 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Por otra parte, los cuartiles de esta distribución pueden verse en el siguiente cuadro:

$Q_0 = 72'10 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (Valor menor de la serie)
$Q_1 = 183'50 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (Primer cuartil)
$Q_2 = Me = 320'23 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (Segundo cuartil)
$Q_3 = 576'16 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (Tercer cuartil)
$Q_4 = 2.022'46 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (Valor mayor de la serie)

* Media cuadrática:

$$C = \sqrt{\sum_{i=1}^{50} x_i^2 \cdot n_i / n} = \sqrt{2.390.856.733'22 / 7.299} = 572'32 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

*** Media geométrica:**

$$G = \sqrt[7.299]{\prod_{i=1}^{50} x_i^{n_i}} = \text{antilog.} \frac{\sum_{i=1}^{50} n_i \cdot \log x_i}{n} =$$

$$= \text{antilog } 18.323'48 / 7.299 = 323'90 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

*** Media armónica:**

$$H = \frac{N}{\sum_{i=1}^{50} \frac{n_i}{x_i}} = \frac{7.299}{29'86} = 244'44 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Desde luego, las cuatro medias aquí estudiadas quedan ordenadas, con arreglo a su magnitud, del modo siguiente:

$$\text{armónica} < \text{geométrica} < \text{aritmética} < \text{cuadrática}$$

$$(H = 244'44) < (G = 323'90) < (\bar{X} = 436'36) < (C = 572'32)$$

De hecho, la relación matemática existente entre las medias aritmética, geométrica, cuadrática y armónica, para una misma distribución de frecuencias con todos sus datos positivos, debe cumplir la monotonía ascendente:

$$H \leq G \leq \bar{X} \leq C$$

En efecto. Consideremos el caso más sencillo de una distribución con dos valores de la variable con frecuencias unitarias y que con dichos valores pueden calcularse los cuatro promedios antedichos:

$$H = \frac{2}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}} = \frac{2}{\frac{x_1 + x_2}{x_1 x_2}} = \frac{2x_1 x_2}{x_1 + x_2}$$

$$G = \sqrt{x_1 x_2}$$

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2}{2}; C = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2}{2}}$$

Vamos a demostrar en primer lugar que $H \leq G$, o sea:

$$\frac{2x_1 x_2}{x_1 + x_2} \leq \sqrt{x_1 x_2}$$

Elevando al cuadrado los miembros de la anterior desigualdad y operando:

$$\begin{aligned}
4x_1^2x_2^2 &\leq x_1x_2(x_1+x_2)^2 \quad ; \quad 4x_1x_2 \leq (x_1+x_2)^2 \\
4x_1x_2 &\leq x_1^2+x_2^2+2x_1x_2 \quad ; \quad 0 \leq x_1^2+x_2^2-2x_1x_2 \\
0 &\leq (x_1-x_2)^2
\end{aligned}$$

Con lo que queda demostrado que $H \leq G$. Por otro lado $G \leq \bar{X}$ ya que:

$$\sqrt{x_1x_2} \leq \frac{x_1+x_2}{2} \quad ; \quad 4x_1x_2 \leq (x_1+x_2)^2$$

Con lo que se tendrá que:

$$0 \leq (x_1-x_2)^2$$

Por tanto, queda demostrado que $H \leq G \leq \bar{X}$. Por último, teniendo en cuenta la relación que liga la media cuadrática con la aritmética y la varianza, esto es: $C^2 = \bar{X}^2 + \sigma^2$, se deduce que: $\bar{X} \leq C$, como se quería demostrar.

Esta demostración también puede generalizarse para cualquier número de valores de la variable hidráulica en estudio. En cualquier caso, la demostración de la última desigualdad también puede realizarse analíticamente a partir de la definición de ambas medias, esto es:

$$\begin{aligned}
\bar{X} &= \frac{x_1+x_2}{2} \quad ; \quad C = \sqrt{\frac{x_1^2+x_2^2}{2}} \\
\bar{X}^2 &= \frac{x_1^2+x_2^2+2x_1x_2}{4} \quad ; \quad C^2 = \frac{x_1^2+x_2^2}{2} = \frac{x_1^2+x_2^2}{4} + \frac{x_1^2+x_2^2}{4} \\
\bar{X}^2 &= \frac{x_1^2+x_2^2}{4} + \frac{x_1x_2}{2} \quad ; \quad C^2 - \bar{X}^2 = \frac{x_1^2+x_2^2}{4} - \frac{x_1x_2}{2} \quad ;
\end{aligned}$$

Obsérvese que esta diferencia de fracciones debe ser necesariamente positiva o nula. En efecto, se trata de comparar las expresiones:

$$\frac{x_1^2+x_2^2}{4} \quad \text{y} \quad \frac{2x_1x_2}{4} \quad , \quad \text{o más concretamente sus numeradores, o sea:}$$

$x_1^2+x_2^2$ y $2x_1x_2$. Como se tiene que el cuadrado de una diferencia ofrece:

$$(x_1-x_2)^2 = x_1^2+x_2^2-2x_1x_2 \geq 0 \Rightarrow x_1^2+x_2^2 \geq 2x_1x_2 \quad ,$$

con lo que también: $C^2 \geq \bar{X}^2$, y además: $\bar{X} \leq C$, c.s.q.d.

4.3. Medidas de dispersión o concentración

Por lo que se refiere a la desviación típica o "standard" del universo, como medida de la dispersión absoluta de la distribución de nuestra variable hidráulica Q_i (caudal del río Ebro en su tramo final), veamos que su valor vendrá dado por:

$$\sigma = \sqrt{C^2 - \bar{X}^2} = \sqrt{572'32^2 - 436'36^2} = 370'32 \text{ m}^3/\text{seg.},$$

y un coeficiente de variación de Pearson (medida de dispersión relativa) de:

$$CV = \sigma / \bar{X} = 370'32 / 436'36 \approx 0'849 = 84'9\%, \text{ ciertamente elevado.}$$

Por otra parte, se tendrá que: $\sum x_i^2 = 16.375.766'66$, con:
 $s = 374'04 \text{ m}^3/\text{seg.}$ (desviación típica de la muestra)

Recorrido intercuartílico:

$$Q_3 - Q_1 = 576'16 - 183'50 = 392'66 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Coefficiente de variación cuartílica (coeficiente de dispersión relativa cuartílica):

$$\frac{Q_3 - Q_1}{Q_3 + Q_1} = \frac{576'16 - 183'50}{576'16 + 183'50} = \frac{392'66}{759'66} = 0'517,$$

es decir, que en ambos casos, la medida de dispersión relativa empleada representa un porcentaje importante del correspondiente promedio. **Desde luego, ello indicaría que el grado de dispersión de los caudales de esta serie de 20 años resulta francamente elevado. En efecto, los coeficientes de uniformidad definidos en nuestro estudio, tomarán, en este caso, los siguientes valores:**

$$\begin{cases} CU_1 = 100 \cdot (1 - CV) = 100 \cdot (1 - 0'849) = 15'1\% \\ CU_3 = 100 \cdot (1 - 1'27 \cdot CV) = 100 \cdot (1 - 1'27 \cdot 0'849) = \pm 7'8\% \\ CU_4 = 100 \cdot (1 - 0'80 \cdot CV) = 100 \cdot (1 - 0'80 \cdot 0'849) = 32'1\% \end{cases}$$

debiendo considerarse también que:

$$CU_2 = (Q_1 / \bar{X}) \cdot 100 = (183'50 / 436'36) \cdot 100 = 42'1\%$$

, si bien otra determinación del mismo coeficiente de uniformidad hidráulica¹ conduciría al valor:

¹ Para mayores especificaciones y detalles acerca del concepto "coeficiente de uniformidad hidráulica", puede verse nuestro libro "Cinco temas de Hidrología e Hidráulica", capítulo III.1, citado en la bibliografía.

$$CU_2 = 100 (1 - 0'68 \cdot CV) = 100 (1 - 0'68 \times 0'849) = 42'3\% ,$$

cuya pequeña discrepancia (+0'2%) con el resultado anterior débese al propio ajuste de normalidad, o bien al propio proceso de cálculo decimal.

Veamos, por último, que el "coeficiente de uniformidad hidráulica medio", ofrecerá un valor de:

$$\overline{CU} = 100 (1 - 0'92 \cdot CV) = 100 (1 - 0'92 \times 0'849) = 21'9\% ,$$

mientras que también:

$$CU_5 = 100 \cdot \sqrt{\frac{Q_1}{Q_3}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{183'50}{576'16}} = 56'4\%$$

La representación gráfica de los valores de los diferentes coeficientes de uniformidad hallados, en definitiva, es la siguiente:

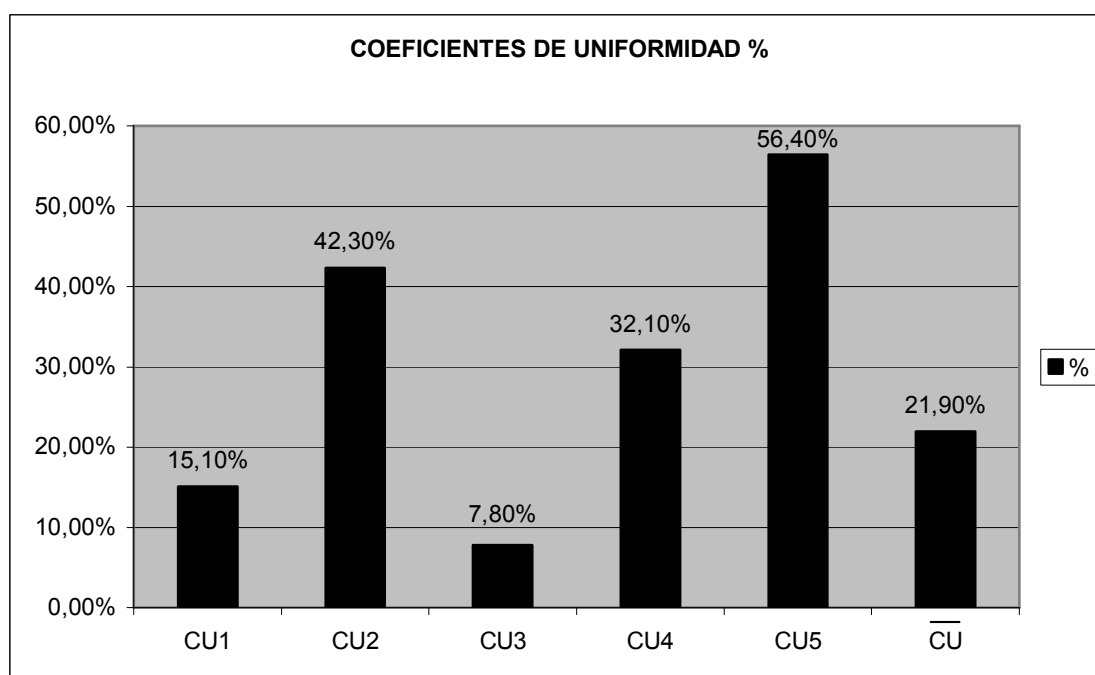


Fig. A3-1. Valores de los diferentes coeficientes de uniformidad hidráulica.

4.4. Otras características de la distribución de frecuencias

Por lo que se refiere a las restantes características de la distribución de la variable hidráulica "caudal" a lo largo del periodo en estudio, veamos que una de la asimetría o sesgo la constituye el denominado "2º coeficiente de asimetría de Pearson":

$$P_2 = \frac{3 \cdot (\bar{X} - M_e)}{\sigma} = \frac{3 \cdot (436'36 - 320'23)}{370'32} = 0'941 > 0 ,$$

de lo que se deduce que esta distribución de frecuencias es asimétrica hacia la derecha, con un “coeficiente de sesgo cuartílico” de valor:

$$\frac{Q_3 - 2Q_2 + Q_1}{Q_3 - Q_1} = \frac{576'16 - 2 \cdot 320'23 + 183'50}{576'16 - 183'50} = 0'304$$

Además se cumple que:

$$\bar{X} = 436'36 \text{ m}^3/\text{seg.} > M_e = 320'23 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

De los resultados de las tablas de cálculo que se acompañan, se deduce que el momento central (respecto a la media aritmética) de tercer orden es:

$$m_3 = \frac{764.407.191.999'17}{7.299} = 104.727.660 ,$$

por lo que se tendrá un "coeficiente directo de asimetría" o "coeficiente de sesgo" de Fisher de:

$$g_1 = m_3 / \sigma^3 = 104.727.660 / 370'32^3 = 2'06 ,$$

que confirma la asimetría hacia la derecha (positiva) anteriormente expresada (en curvas simétricas como la normal, se cumple que: $g_1 = g_1^2 = 0$).

Por otra parte,

$$m_4 = \frac{1.139.667.781.026.550}{7.299} = 156.140.263.190$$

que es el momento central o respecto al origen, de 4.º orden y, por tanto, se tendrá un “coeficiente de curtosis” de Fisher de:

$$g_2 = \frac{m_4}{\sigma^4} - 3 = \frac{156.140.263.190}{370'32^4} - 3 = 8'3 - 3 = 5'3 > 0 ,$$

tratándose, pues, de una distribución **leptocúrtica** (la curva normal tiene, como es sabido, un valor $g_2 = 0$).

Veamos, así mismo, que la anterior tabla auxiliar de cálculo núm. A3-4, en su última columna, nos permitirá el cálculo de otra medida de dispersión absoluta a la que ya nos hemos referido con anterioridad: la desviación media

respecto a la media aritmética (que sería mínima con respecto a la mediana), a saber:

$$DM = \frac{\sum_{i=1}^{50} |x_i - \bar{X}| \cdot n_i}{N} = \frac{1.953.136'77}{7.299} = 267'59 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Este valor debe ser también aproximadamente igual a:

$$\frac{4 \cdot \sigma}{5} = \frac{4 \cdot 370'32}{5} = 296'26 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Este valor de la DM, en la presente distribución agrupada de frecuencias, conducirá a una determinación más ajustada y directa del valor del coeficiente de uniformidad hidráulica CU_4 , a saber:

$$CU_4 = 100 \left(1 - \frac{DM}{\bar{X}} \right) = 100 \left(1 - \frac{296'26}{436'36} \right) = 32'1\%,$$

que coincide exactamente con el anteriormente calculado mediante procedimientos indirectos.

Veamos, por último, que la “función de densidad” normal (aunque ya hemos visto que esta distribución de probabilidad se aleja bastante de una distribución típicamente normal) tomará la configuración analítica:

$$y = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\alpha)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{370'32 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-436'36)^2}{2 \cdot 370'32^2}} = \frac{1}{928'25} \cdot e^{-\frac{(x-436'36)^2}{274.273'8}}$$

Sería conveniente, pues, la búsqueda de una distribución teórica de probabilidad más adecuada al caso que nos ocupa.

ANEXO 4

**RESTANTES ESPECIFICACIONES
METODOLÓGICAS**

I. DISTRIBUCIÓN TEÓRICA Y MÉTODO DE GUMBEL

1. DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXTREMOS

1.1. MÉTODO DE GUMBEL

1.1.1. Conceptos previos

La distribución de Gumbel ha sido utilizada con buenos resultados para valores extremos independientes de variables meteorológicas y parece ajustarse bastante bien a los valores máximos de la precipitación en diferentes intervalos de tiempo y después de muchos años de uso parece también confirmarse su utilidad en los problemas prácticos de ingeniería de dimensionamiento de redes de drenaje y diversas obras hidráulicas. En nuestro trabajo, se ha empleado para el estudio de los períodos de retorno de las precipitaciones máximas registradas en 24 horas, así como para el cálculo de los periodos de retorno de los caudales del río Ebro.

Si n es el número anual de valores diarios independientes de un cierto element o meteorológico o hidrológico y E_x el número medio anual de valores diarios que exceden el valor x , la probabilidad de que un valor diario sea superior a x es: E_x/n , mientras que la probabilidad de que sea menor será, como resulta bien claro, la complementaria: $1-(E_x/n)$.

La probabilidad: $p = F(x)$, expresada en tanto por uno, de que el máximo anual sea menor que x vendrá dada por: $F(x)=(1-E_x/n)^n$, y si n es suficientemente grande, entonces: $F(x) \rightarrow e^{-E_x}$, ya que se trataría de un límite indeterminado del tipo:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (1 - \frac{E_x}{n})^n = 1^\infty \text{ (Euler)} = e^{\lim_{n \rightarrow \infty} n(-\frac{E_x}{n})} = e^{-E_x},$$

como se quería demostrar.

Si se hace: $y = -\ln E_x$, se tiene que: $F(x) = e^{-e^{-y}}$, ya que también:

$$-y = \ln E_x \quad ; \quad E_x = e^{-y}.$$

y es la variable reducida, $y = -\ln \ln[1/F(x)]$, y e es la base de los logaritmos neperianos o naturales, tal como ya hemos visto en el epígrafe correspondiente de este mismo trabajo.

En la aplicación de la teoría de los valores extremos suele expresarse la probabilidad en términos del **período de retorno o de recurrencia** $T(x)$, que

para un valor particular de x es "el intervalo medio, expresado en años, en que el valor extremo alcanza o supera a x una sola vez". La relación existente entre la probabilidad: $p = F(x)$ y el período de retorno: $n = T(x)$ viene dada por la expresión:

$$T(x) = 1/[1 - F(x)] \text{ , o sea, } n = 1/(1-p)$$

El período de retorno así definido no es el mismo que el intervalo medio entre ocurrencias de valores máximos iguales o superiores a x , $T_1(x)$ ", ya que en estas series, llamadas de **duración parcial**, no se considera el año que se han registrado estos valores máximos, pudiendo haber algunos con dos o más y otros sin ninguno.

Según SEELYE, T y T_1 , están relacionadas por la ecuación:

$$(1/T_1)\ln T = \ln (T-1)$$

En algunas aplicaciones puede ser conveniente emplear $T_1(x)$, aunque la diferencia entre T_1 y T es muy pequeña y tiende rápidamente hacia 1/2 cuando T aumenta.

La variable reducida viene dada por la expresión:

$$y = \alpha (x - u)$$

siendo α y u parámetros que pueden calcularse a partir de la serie de valores extremos x .

Para estimar estos parámetros pueden utilizarse diferentes métodos, si bien para el presente estudio se ha adoptado el del ajuste regresional por el método de los **mínimos cuadrados ordinarios**. También se describirá y aplicará el de **probabilidad máxima** de FISHER que, aunque se acostumbra a considerar como el mejor para encontrar los parámetros, no se utiliza generalmente ya que requiere unos cálculos bastante complicados y laboriosos.

1.1.2. Ajuste por mínimos cuadrados ordinarios

Para ver, *a priori*, si la serie de valores máximos anuales se ajusta a la distribución teórica de probabilidad de Gumbel, puede utilizarse **un papel de probabilidad extrema**. En el eje de abscisas se lleva la frecuencia acumulada o probabilidad:

$$p = F(x) = 100 \cdot m/(n+1)$$

La escala es doble logarítmica y, como consecuencia, lineal en y . En la horizontal superior figuran los períodos de retorno o de recurrencia:

$$n = T(x) = 1/[1-F(x)] = 1/(1-p)$$

Para representar una distribución de frecuencias de valores extremos se ordenan los **n** valores máximos anuales de menor a mayor, asignando al primero el valor 1, al segundo el 2, etc. En la expresión: $100 \cdot m/(n+1)$ se dan a **m** los valores: 1, 2, 3,...,n, y los obtenidos se llevan sobre la escala horizontal. Sobre la escala vertical se llevan los correspondientes valores máximos. Si los puntos representativos están relativamente alineados, la distribución se ajusta a la del tipo Gumbel, tanto mejor cuanto más alineados estén.

Para el cálculo de la línea de óptimo ajuste se ha desarrollado un método que es una variante del de los mínimos cuadrados ordinarios (CHOW). La diferencia consiste en que la suma de los cuadrados de las distancias o desviaciones a la mediana de los valores de la variable aleatoria estadística, la cual ha de ser mínima, no se mide paralelamente a los ejes coordenados (0x o 0y) sino paralelamente a una línea recta cuya pendiente es de signo opuesto a la línea de mejor ajuste. Este método simplifica considerablemente los cálculos y conduce a las relaciones siguientes, con tal de estimar el valor de los parámetros α y u :

$$\alpha = \frac{S_n}{S_x} \quad ; \quad u = \bar{x} - \bar{y}_n \frac{S_x}{S_n}$$

$$x = \bar{x} + \frac{y_T - \bar{y}_n}{S_n} S_x$$

en que \bar{y}_n y S_n son, respectivamente, la mediana aritmética y la desviación típica o "standard" de la variable reducida y, obtenidas mediante la siguiente relación:

$$y = -\ln [\ln (n+1)/m]$$

y dependen solamente de **n** (número de años de la serie).

Asimismo, \bar{x} y S_x son la media aritmética y la desviación típica de los valores máximos anuales, respectivamente. El cociente de la segunda por la primera constituye el conocido "coeficiente de variación de Pearson", que es una medida relativa o adimensional de la dispersión de los valores de la variable aleatoria estadística empleada.

1.2. AJUSTE POR LA PROBABILIDAD MÁXIMA (FISHER)

Se considera como el mejor método para la estimación de los parámetros, sobretodo si la muestra no es grande y/o los datos son bastante irregulares. Es un método muy laborioso, lo que limita su aplicación a la práctica. Jenkinson (1955) obtuvo una solución general de la ecuación funcional, que es la siguiente:

$$x = x_0 + \gamma \cdot [(1 - e^{Ky})/K]$$

Para $K = 0$, se obtiene la distribución de Gumbel (Fisher-Tippett, Tipo I):

$$x = x_0 + \gamma \cdot y$$

Los datos se ordenan de menor a mayor y se dividen en sixtilos. Seguidamente se calculan las medianas de estos sixtilos ($w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6$) y después la relación: $(w_2 - w_1)/(w_6 - w_5)$. Finalmente, se calcula la mediana w y la desviación típica de los sixtilos, S_w .

Si $K = 0$, el valor de \bar{W} es 0'58 y el de S_w es 1'20.

La recta estimada se obtiene ajustando la línea recta:

$$x - \bar{w} = \frac{S_w}{S_w} (w - \bar{W}) \quad ; \text{ o sea : } x - \bar{w} = \frac{S_w}{S_w} (w - 0'58)$$

A partir de esta ecuación se obtienen estimaciones de los valores de γ y de x_0 .

Para $K=0$, como es el caso de que se trata, la solución de la probabilidad máxima se calcula haciendo máxima la probabilidad para la muestra dada, que se obtiene multiplicando los valores de la función de frecuencia:

$$f(x) = \left| \frac{dF(x)}{dx} \right|$$

para los valores reales: x_1, x_2, \dots, n . El logaritmo de la probabilidad L será igual a:

$$L = \sum \log f(x) = \sum \log \left| \frac{dF(x)}{dx} \right|$$

De: $F(x) = e^{-e^{-y}}$ y también: $x = x_0 + \gamma y$, se deduce que:

$$\frac{1}{F(x)} \frac{dF(x)}{dx} = e^{-y} \frac{dy}{dx} \quad ; \quad \frac{dF(x)}{dx} = \frac{F(x)}{\gamma} e^{-y}$$

$$e^{-e^{-y}}$$

$f(x) = \frac{e^{-e^{-y}}}{|\gamma|} e^{-y}$, con lo cual, $\ln f(x) = -\ln |\gamma| - e^{-y} - y$, de dónde:

$$-L = N \ln |\gamma| + \sum y + \sum e^{-y} \text{ (función objetivo a optimizar)}$$

Las sumas son para los valores de: $y = (x-x_0)/\gamma$, sustituyendo x para x_1, x_2, \dots, x_n . Las estimaciones de γ , x_0 son las que maximizan a L , o sea, las que minimizan a $-L$.

Para estos valores de γ y x_0 , se tiene (condición necesaria o de primer grado):

$$-\frac{\partial L}{\partial \gamma} = 0 \quad y \quad -\frac{\partial L}{\partial x_0} = 0$$

Es fácil comprobar que:

$$-\frac{\partial L}{\partial \gamma} = \frac{R}{\gamma} \quad y \quad -\frac{\partial L}{\partial x_0} = \frac{P}{\gamma}$$

siendo:

$$P = N - \sum e^{-y} \quad ; \quad R = N - \sum y + \sum y e^{-y}$$

Se empieza por las estimaciones de γ y x_0 ; se tabulan $y = (x-x_0)/\gamma$, e^{-y} e $y \cdot e^{-y}$ y se calculan P y R . Nuevas estimaciones: $\tilde{\gamma} = \gamma + \gamma^1$; $\tilde{x}_0 = x_0 + x_0^1$, se obtienen por el desarrollo en serie de:

$$-\frac{\partial L}{\partial \gamma}(\hat{\gamma} - \gamma^1, \hat{x}_0 - x_0^1) \quad y \quad -\frac{\partial L}{\partial x_0}(\hat{\gamma} - \gamma^1, \hat{x}_0 - x_0^1)$$

considerando solamente la primera y segunda derivadas parciales de $-L$, y tomando:

$$-\frac{\partial L}{\partial \gamma}(\gamma, x_0) = -\frac{\partial L}{\partial x_0}(\gamma, x_0) = 0, \text{ por hipótesis.}$$

Las relaciones son las siguientes:

$$\frac{N \gamma^1}{\gamma} = 0'65(-R) + 0'26 (P)$$

$$\frac{N x_0^1}{\gamma} = 0'26(-R) + 1'11 (P)$$

La matriz cuadrada de segundo orden:

$$\begin{vmatrix} 0'65 & 0'26 \\ 0'26 & 1'11 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} \frac{6}{\pi^2} & \frac{6}{\pi^2}(1-\gamma) \\ \frac{6}{\pi^2}(1-\beta) & 1 + \frac{6}{\pi^2}(1+\beta)^2 \end{vmatrix}$$

(β = constante de Euler = 0'5772)

es la matriz varianza-covarianza para las estimaciones de la probabilidad máxima. Algunos de estos conceptos se desarrollan a continuación.

Efectivamente, la sucesión de término general:

$$a_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} - \ln n$$

es decreciente y acotada, ya que:

$$a_{n+1} - a_n = \frac{1}{(n+1)} - \ln \frac{(n+1)}{n}$$

y como:

$$\frac{1}{n} > \ln(1 + \frac{1}{n}) > \frac{1}{(n+1)}$$

es decreciente, además:

$$a_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} - \ln n = 1 - \ln \frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \ln \frac{3}{2} + \dots + \frac{1}{n} - \ln \frac{(n+1)}{n} > 0$$

así, pues, está acotada. Es, por tanto, una sucesión convergente; su límite es un número finito y determinado que se designa por β y se denomina "constante o número de Euler". Se tiene:

$$\begin{aligned} \beta &= \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} (1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} - \ln n) = \\ &= 0'5772156649... \end{aligned}$$

Esta constante resulta muy útil para calcular ciertos límites.

En cualquier caso, el carácter convergente de la serie numérica:

$$a_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} - \ln n,$$

es perfectamente demostrable, considerando que:

$$a_n = 1 + b_n$$

O sea:

$$b_n = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} - \ln n =$$

$$= (\frac{1}{2} + \ln 1 - \ln 2) + (\frac{1}{3} + \ln 2 - \ln 3) + (\frac{1}{4} + \ln 3 - \ln 4) + [1/n + \ln(n-1) - \ln n]$$

Notamos que los términos de la serie: $\frac{1}{i} + \ln(i-1) - \ln i$, $\forall i \in (2, 3, \dots, n)$ son negativos y decrecientes en valor absoluto. Los cambiaremos de signo, con lo que obtendremos:

$$c_n = -b_n = (\ln 2 - \ln 1 - \frac{1}{2}) + (\ln 3 - \ln 2 - \frac{1}{3}) + (\ln 4 - \ln 3 - \frac{1}{4}) + \dots + [\ln n - \ln(n-1) - \frac{1}{n}]$$

La serie numérica: $\sum_{n=2}^{\infty} [\ln n - \ln(n-1) - 1/n]$ es convergente, circunstancia ésta demostrable perfectamente por aplicación del criterio del *test integral*, mientras que:

$$y = \ln x - \ln(x-1) - 1/x = f(x).$$

Si tomamos, ahora : $\varepsilon = 1$, tenemos la integral impropia:

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow +\infty} \int_{\varepsilon}^n f(x) dx &= \int_{\varepsilon}^{+\infty} f(x) dx = \int_1^{+\infty} \left[\ln x - \ln(x-1) - \frac{1}{x} \right] dx = \\ &= \lim_{\alpha \rightarrow +\infty} \left[x \cdot \ln x - x - (x-1) \ln(x-1) + (x-1) - \ln x \right]_1^{\alpha} = \\ &= \lim_{\alpha \rightarrow +\infty} [\alpha \ln \alpha - \alpha - (\alpha-1) \ln(\alpha-1) + (\alpha-1) - \ln \alpha + 1] = \\ &= \lim_{\alpha \rightarrow +\infty} [\ln \alpha (\alpha-1) - \ln(\alpha-1)(\alpha-1)] = \\ &= \lim_{\alpha \rightarrow +\infty} [(\alpha-1) \ln \alpha - (\alpha-1) \ln(\alpha-1)] = \\ &= \lim_{\alpha \rightarrow +\infty} (\alpha-1) [\ln \alpha - \ln(\alpha-1)] = \\ &= \lim_{\alpha \rightarrow +\infty} \ln \left(\frac{\alpha}{\alpha-1} \right)^{\alpha-1} = \lim_{\alpha \rightarrow +\infty} \ln \left(1 + \frac{1}{\alpha-1} \right)^{\alpha-1} = \\ &= \ln e = 1 \end{aligned}$$

y la integral existe.

En consecuencia c_n es convergente, y b_n y a_n también lo son, tal y como queremos demostrar.

Las nuevas estimaciones para γ y x_0 son las siguientes:

$$\tilde{\gamma} = \gamma + \gamma^1 \quad ; \quad \tilde{x}_0 = x_0^1 + x_0^1$$

A continuación, se repite el proceso descrito partiendo de estos nuevos valores. Generalmente, dos pasos son suficientes para resolver exitosamente el problema planteado.

2. CONSIDERACIONES SOBRE EL USO DEL MÉTODO DE GUMBEL AL ESTUDIO DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS

En cuanto a las limitaciones del método de Gumbel, hasta aquí estudiadas, evidentemente no existe una base teórica para decidir "a priori" que distribución habrá de emplearse para el análisis de las lluvias máximas, ya que no se conoce la forma exacta de la distribución de frecuencias de las precipitaciones de duración t , a partir de la que se seleccionen los máximos.

Se aconseja representar los máximos anuales sobre un papel de probabilidad extrema y si los puntos marcados están más o menos alineados, puede suponerse razonablemente que los datos de la estación meteorológica en cuestión se ajustan bastante bien a la distribución teórica de probabilidad. Cuando los puntos muestran una determinada curvatura, se plantea la cuestión de decidir si la falta de alineación es debida a la muestra escogida, que no es representativa del régimen pluviométrico de la estación en un largo período de tiempo, o bien si existe algún factor microclimático local que influye notoriamente en la distribución de frecuencias de la lluvia. La llanura del delta del Ebro, que participa de las dos comarcas de nuestro estudio casi a partes iguales (Baix Ebre y Montsià), v.gr., constituye un claro ejemplo de microclima altamente representativo del tramo inferior del río Ebro.

El método de Gumbel es atractivo por su relativa sencillez, sobre todo al emplear un gran volumen de datos como sucede en el presente estudio. Ha sido utilizado extensivamente en muchos países, particularmente en trabajos hidrológicos, y la justificación principal de su uso es que al estar sometido a prueba, en numerosas ocasiones, ha dado resultados satisfactorios en la práctica. Por esto también hemos decidido aplicarlo a nuestro caso.

Para la aplicación del método a la serie de valores máximos anuales de la precipitación en diferentes intervalos de tiempo y para diferentes períodos de retorno o recurrencia, se ha empleado la fórmula siguiente:

$$x_T = \bar{x} + \frac{y_T - \bar{y}_n}{S_n} S_x$$

en la que:

\bar{x} , media de las precipitaciones máximas anuales.
 y_T , variable reducida para un período de retorno de T años.
 \bar{y}_n y S_n , media aritmética y desviación típica de la variable reducida y , para una serie de n años, respectivamente.
 S_x , error típico de los máximos anuales [no se toma en consideración la desviación típica o "standard", ya que el error típico de la estimación (SE) se considera más representativo, particularmente para las series más cortas]. Asimismo, en el estudio de las precipitaciones extremas, sí hemos considerado esta desviación típica o cuadrática media.

3. FÓRMULAS DE ALTURA-DURACIÓN-FRECUENCIA

La mayoría de las fórmulas de altura-duración-frecuencia de la precipitación, utilizadas en hidrología aplicada, son casos particulares de la fórmula general siguiente:

$$x_{t,T} = a \cdot t(t + c)^{-b} F(T, t) \quad (1)$$

dónde:

$x_{t,T}$, es la lluvia de duración t (horas) con período de retorno T .
a, **b** y **c** son coeficientes que hay que encontrar para cada localidad geográfica.
 $F(T,t)$ es la llamada "función de frecuencia".

Con los valores obtenidos aplicando la distribución de Gumbel a las estaciones en las que se dispone de datos de precipitaciones máximas en intervalos de 10 minutos a 72 horas, se trata ahora de analizar la posibilidad de emplear la fórmula anterior y de determinar los coeficientes **a**, **b** y **c** para las diferentes localidades de la región del Ebro, objeto de nuestro estudio. En efecto:

$$x_{t,T} = \bar{x}_t + \frac{y_T - \bar{y}_n}{S_n} S_x = \bar{x}_t [1 + K(T,n) V_t]$$

$$K(T, n) = \frac{y_T - \bar{y}_n}{S_n}, \text{ y también:}$$

$$V_t = \frac{S_x}{\bar{x}_t} = \text{coeficiente de variación de Pearson (expresado en tanto por$$

uno que, como ya se ha dicho, es una medida de dispersión relativa de la correspondiente distribución de frecuencias).

Si bien la fórmula general (1) resulta adecuada para representar los valores de la precipitación máxima en una estación concreta, será también posible determinar unos ciertos coeficientes **a**, **b** y **c** tales que los valores de x_t se ajusten a la ecuación:

$$y = a \cdot t (t + c)^{-b}$$

Si el ajuste es suficientemente bueno, la "función de frecuencia" $F(T,t)$ tomará la configuración matemática:

$$1 + K(T, n) V_t$$

Para $c = 0$, si se hace la correspondiente representación gráfica sobre papel logarítmico, la ecuación:

$$y = a \cdot t^{1-b} \quad (2)$$

se reduce a una línea recta de pendiente $(1-b)$, ya que:

$$\log y = \log a + (1-b) \cdot \log t ,$$

obtenida tomando logaritmos decimales o neperianos en la expresión (2) anterior.

Si **c** es positivo (negativo) la curva se encuentra por debajo (por encima) de la línea recta, aproximándose a ella asintóticamente al aumentar el valor de **t**.

4. GENERALIDADES SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE GUMBEL

En el cálculo de los caudales de avenida para el dimensionamiento y diseño de los aliviaderos de las grandes presas hidráulicas resulta también habitual el uso de la función de distribución de Gumbel. Se trata de una herramienta de cálculo de probabilidades de contrastada validez en el estudio de los máximos (o mínimos) de una serie cronológica de datos meteorológicos o hidrológicos. También es usada en ingeniería marítima y en general en el diseño de construcciones civiles que puedan estar sometidas a condiciones climatológicas extremas. La distribución de Gumbel, desde el punto de vista del análisis matemático, es una distribución gamma exponencial generalizada.

Por parte de algunos analistas técnicos suele ser habitual el uso de herramientas subjetivas y algunas con muy poco o nulo soporte matemático. Se dice que funcionan cuando en realidad lo que consiguen es básicamente situar al usuario en un marco de autodisciplina operativa, lo que en algunos casos es mucho más de lo que cabría esperar. La función de distribución acumulada de

Gumbel viene dada por la expresión exponencial doble, como ya hemos visto en el epígrafe 6.2.1. de este mismo Informe:

$$F(X) = e^{-e^{\alpha(X-u)}},$$

donde: $\bar{X} = u + \frac{\beta}{\alpha}$; y siendo $\beta \approx 0'5772...$ el número o constante de Euler¹ anteriormente definida (ver epígrafe 1.2 de este mismo anexo).

Además se verifica que: $\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2}$, o lo que es igual: $\frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{6\sigma^2}{\pi^2}}$ y en consecuencia, resulta que: $u = \bar{X} - \frac{\beta\sqrt{6}}{\pi} \times \sigma$.

Podemos utilizar: $u \approx \bar{X} - 0'4499 \cdot \sigma$, y: $\frac{1}{\alpha} \approx 0'779696 \cdot \sigma$.

Así, calculando la media \bar{X} de una variable aleatoria X y la desviación típica o "standard" σ de la misma tendremos determinados los valores de los parámetros de la distribución α y u . Recordemos que la probabilidad de que la variable x sea menor o igual que un cierto valor dado Z es el valor que la función de distribución acumulada toma para Z , es decir, que: $P(x \leq Z) = F(Z)$.

De esta forma al trabajar con una serie temporal o histórica de temperaturas, precipitaciones o caudales podemos fijar la probabilidad en términos de la unidad temporal usada. Por ejemplo si estamos midiendo en días, hablar de una probabilidad del 90% es lo mismo que decir:

$$0'90 = 1 - \frac{1}{n} \Rightarrow n = 10 \text{ días},$$

o lo que es igual, en los próximos 10 días los valores que tome la serie serán menores o iguales a un cierto valor Z en el 90% de los casos, siendo Z tal que: $F(Z) = 0'90$.

¹ Leonhard Euler (1707-1783), sin duda el científico suizo más eminente, fue un matemático de gran talento del siglo XVIII que enriqueció las matemáticas en cada una de sus ramas y cuya energía fue al menos tan notable como su genio. *"Euler calculaba sin esfuerzo aparente, como los hombres respiran, o como las águilas se sostienen en el viento"*, escribió Francois Arago, el astrónomo y físico francés. Se dice que Euler *"producía memorias en la media hora, entre la primera y segunda llamadas a comer"*. Según el historiador matemático Eric Temple Bell *"componía a menudo sus memorias con un bebé en su regazo mientras los niños mayores jugaban a su alrededor"*; los hijos de Euler fueron 13. A los veintiocho años resolvió en tres días un problema astronómico difícil que, según los astrónomos, llevaría varios meses de esfuerzos. Esta hazaña prodigiosa forzó su vista de tal modo que perdió la visión de un ojo y finalmente quedó totalmente ciego. Pero esta desventaja no disminuyó en modo alguno ni el volumen ni la calidad de su producción matemática. Sus escritos llenarán, según se estima, de 60 a 80 grandes volúmenes en un cuarto cuando la edición de sus obras completas haya sido concluida.

II. NUEVAS FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS

1. FÓRMULAS DE VELOCIDAD Y CAUDAL (Franquet)

Para resolver el modelo hidráulico que hemos referido en nuestro trabajo (ver apartado 5.2.2.) se proponen por este autor 4 fórmulas para el cálculo de estos cauces naturales, según las diferentes categorías de rugosidad de las paredes y fondo, junto con un modelo múltiple de aplicación universal. Han sido extraídas del capítulo I de nuestro libro “Cinco temas de Hidrología e Hidráulica” (FRANQUET, 2003), citado en la bibliografía.

De cualquier modo, para las 4 categorías de rugosidad (9-12) de los cauces naturales que pueden ser objeto de estudio a los efectos de la determinación de los caudales ecológicos por ellos circulantes, se tendrán para cada caso, según la clasificación que de los mismos puede verse en la tabla correspondiente, las siguientes funciones potenciales:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{K = 9 \dots V} &= \sqrt{\frac{2g \cdot R \cdot I}{0'0197 \times R^{-0'4166}}} = 31'55 \times R^{0'7083} \times I^{0'5} \\
 \mathbf{K = 10 \dots V} &= \sqrt{\frac{2g \cdot R \cdot I}{0'0268 \times R^{-0'4222}}} = 27'05 \times R^{0'7111} \times I^{0'5} \\
 \mathbf{K = 11 \dots V} &= \sqrt{\frac{2g \cdot R \cdot I}{0'0364 \times R^{-0'4332}}} = 23'21 \times R^{0'7166} \times I^{0'5} \\
 \mathbf{K = 12 \dots V} &= \sqrt{\frac{2g \cdot R \cdot I}{0'0514 \times R^{-0'4384}}} = 19'53 \times R^{0'7192} \times I^{0'5}
 \end{aligned}$$

Siendo:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{R: radio hidráulico o medio (m.).} \\
 \text{V: velocidad media de la sección (m/s.).} \\
 \text{I: pendiente longitudinal del cauce, aproximada por la tangente del ángulo.} \\
 \text{g: constante de la aceleración de la gravedad (9'81 m/seg.^2).}
 \end{array} \right.$$

Del mismo modo, para todos los casos, también puede resultar útil el empleo directo de la fórmula que nos ofrece el caudal: $Q = S \cdot V$, y/o substituyendo el valor del radio hidráulico medio por: $R = S/c$, siendo **c** el contorno o perímetro mojado del cauce en cuestión (m.) y **Q** el caudal ecológico objeto de determinación (m³/seg.). Así, se obtendrán respectivamente las siguientes expresiones:

$$K = 9 \dots Q = 31'55 \cdot c \cdot R^{1'7083} \cdot I^{0'5}$$

$$K = 10 \dots Q = 27'05 \cdot c \cdot R^{1'7111} \cdot I^{0'5}$$

$$K = 11 \dots Q = 23'21 \cdot c \cdot R^{1'7166} \cdot I^{0'5}$$

$$K = 12 \dots Q = 19'53 \cdot c \cdot R^{1'7192} \cdot I^{0'5}$$

Por último, veamos que las 4 categorías o clases de rugosidad de las paredes y solera de las conducciones libres naturales a las que nos hemos referido aquí, que resultan útiles para la aplicación de las fórmulas universales propuestas por este autor para el cálculo del caudal ecológico de este tipo de cauces, podrían clasificarse así:

Clase de cauce	Categ. (K)	Rugosidad	Tipología del cauce
Cauces Naturales	9	Alta	Cauces naturales consolidados.
	10	“	
	11	Muy alta	Cauces naturales sin consolidar (en avenidas).
	12	“	

Tabla A4-1. Clasificación de los cauces naturales según categorías de rugosidad.

2. EXPRESIÓN MULTIVARIANTE (Franquet)

Aplicando, ahora, la fórmula general de Darcy-Weissbach para las conducciones libres, a saber:

$$V = \sqrt{\frac{2g}{\lambda}} \times \sqrt{R \cdot I} = \sqrt{\frac{2g \cdot R \cdot I}{\lambda}},$$

se tiene, para cada caso de las categorías de rugosidad del 9 al 12:

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot R \cdot I}{R^{-0'4112} \times e^{-6'8639 + 0'3236 \times K}}} = 4'43 \times \sqrt{I \times R^{1'4112} \times e^{6'8639 - 0'3236 \times K}}$$

El caudal de la conducción libre, por otra parte, en función del contorno o perímetro mojado c (teniendo en cuenta que: $Q = S \cdot V$, $R = S/c$), vendrá dado por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} Q &= 4'43 \times R \times c \times \sqrt{I \cdot R^{1'4112} \cdot e^{6'8639 - 0'3236 \times K}} = \\ &= 4'43 \times c \times I^{0'5} \times R^{1'7056} \times e^{3'43195 - 0'1618 \times K} \end{aligned}$$

Obsérvese que la consideración, en las fórmulas expuestas, de las 4 categorías de rugosidad (K) de paredes y solera del cauce natural analizado permite al calculista aplicar opcionalmente a dicho parámetro valores no enteros o intermedios entre 2 categorías correlativas, con lo que el margen de maniobra se amplía enormemente.

ANEXO 5

**CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS CAUDALES
ECOLÓGICOS**

1. DEFINICIONES Y CONCEPTOS PREVIOS

La expresión **caudal ecológico**, referida a un tramo de río como el Ebro o a cualquier otro cauce de agua corriente, encierra un concepto que puede definirse como *el flujo de agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce del mismo, como:*

- *los hábitats naturales que cobijan una riqueza de flora y fauna,*
- *las funciones ambientales como dilución de poluentes,*
- *la amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos,*
- *la preservación del paisaje.*

Así pues, el concepto de “caudal mínimo medioambiental” subsume el de “caudal ecológico” y otros aspectos (hidrológico, sanitario y otros) que ya han sido conceptualmente considerados en el capítulo 2 de nuestro libro. En cualquier caso, la determinación del caudal ecológico de un río se debe efectuar según un cuidadoso análisis de las necesidades mínimas de los ecosistemas existentes en el área de influencia de la estructura hidráulica que, en alguna forma, va a modificar el caudal natural del río o arroyo que es objeto de nuestro estudio.

Otra definición válida del mismo concepto sería la siguiente: *es el caudal mínimo que debe mantenerse en un curso fluvial al construir una presa, en la captación o derivación, de forma que no se alteren las condiciones naturales del biotopo y se garantice el desarrollo de una vida fluvial igual a la que existía anteriormente.*

Se han desarrollado innumerables métodos y metodologías para determinar los requerimientos del caudal de los ecosistemas. Los más simples son los métodos hidrológicos o estadísticos, que determinan el caudal mínimo ecológico a través del estudio de los datos de caudales, como los que nosotros hemos utilizado en parte. Un ejemplo de método estadístico simple es definir el caudal mínimo ecológico como un 10% del caudal medio histórico, que es precisamente lo previsto, al menos hasta la fecha, en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro.

La exigencia de aumentar la dimensión ecológica de las aguas continentales parte directamente de la necesidad de cumplimiento de las exigencias derivadas de nuestra vinculación a la Unión Europea, donde la política del agua está íntimamente unida a una política ambiental. La regulación legal de los caudales ecológicos o demandas ambientales no se puede considerar una acción estrictamente novedosa ya que el Real Decreto que aprobó los Planes Hidrológicos de Cuenca ya establecía este criterio aunque si bien en muchos Planes ya se recoge, no en todos ellos posee el mismo alcance. El caudal ecológico se considera pues como una restricción general que se impone a todos los sistemas de explotación sin perjuicio del principio de supremacía del uso para el abastecimiento de poblaciones. **Dicho caudal ecológico deberá, además, ser**

fijado en los Planes Hidrológicos de Cuenca, para lo cual las Confederaciones Hidrográficas deberán hacer estudios específicos o análisis concretos para cada tramo del río. La caracterización de la demanda ambiental (es decir, la cantidad de agua que se considera “caudal ambiental”) debe venir dada por la intervención de los distintos sectores implicados, desde la planificación hasta el uso del agua.

El Congreso sobre Caudales Ecológicos (INDEX), el objetivo de los cuales era, por cierto, “la preservación de la biodiversidad de un río; es decir, la conservación del patrimonio biológico del medio fluvial compatible con la satisfacción de las demandas sociales sólo superado por el abastecimiento en el orden de prioridades”, concluyó también el siguiente decálogo en referencia a los aspectos biológicos del problema planteado:

1. Se podría definir el caudal ecológico como “el flujo que debe mantenerse en cada sector hidrográfico para permitir que no haya alteraciones significativas en la dinámica del ecosistema y que pueda mantenerse el objetivo ambiental establecido para esa estación, objetivo ambiental que es definido según el estado de referencia que se le aplique”.
2. La mesa hace suya la filosofía expuesta en el Libro Blanco del Agua en España respecto al tema y estimamos que los caudales ecológicos *deben establecerse mediante metodologías que utilicen "variables biológicas integrativas del funcionamiento ecológico del río" (Libro Blanco del Agua, 1999)*. Por lo tanto, para que un caudal pueda considerarse como ecológico tiene que haberse determinado a partir de parámetros o comunidades biológicas. Se entiende por “comunidades biológicas específicas”, los macroinvertebrados, comunidades vegetales, peces y los bosques de ribera, así como las relaciones existentes entre ellos. Estimamos por tanto, que los caudales ecológicos tienen que calcularse a partir de métodos basados en la biodiversidad (como variable integrativa) que hay que relacionar con las variables hidráulicas. Los métodos basados únicamente en aspectos hidrológicos no siempre coinciden con los requerimientos biológicos. Por lo tanto abogamos por metodologías holísticas que tengan en cuenta todos los compartimentos del sistema (geomorfológico, físico, etc.), siendo las biológicas las determinantes.
3. **Los caudales ecológicos se corresponderán siempre con características hidrológicas naturales de la cuenca. El régimen estacional de caudales ecológicos será compatible con los hidrogramas fluviales, de tal manera que se eviten los defectos consistentes en establecer módulos de caudal que no son transportados por los ríos durante un gran número de días al mes, al año o en la época seleccionada.**
4. Deben definirse los objetivos o condiciones de referencia de acuerdo con la propuesta de Directiva del Consejo en el ámbito de la política de aguas, teniendo en cuenta la variabilidad estacional, temporal y espacial. La falta de valores de referencia base a menudo dificulta que se puedan definir las condiciones de referencia.
5. Creemos imprescindible el seguimiento de los caudales que se establezcan como ecológicos, es decir, se debe verificar el cumplimiento de las condiciones de referencia definidas previamente. Consideramos que ésta es la mejor validación

- científica posible dada la complejidad de los sistemas naturales a menudo con comportamientos caóticos.
6. Consideramos que actualmente existen metodologías científicas suficientes y validadas para determinar todos los aspectos biológicos.
 7. Cada proyecto o concesión que se realice en un río debe llevar su propio estudio detallado, por tramos o por zonas de estudio. Este estudio no debería ser un mero trámite, sino un estudio ecológico que establezca las bases para garantizar que la explotación de los caudales sea compatible con la conservación del ecosistema fluvial.
 8. Se tiene que ser muy estricto con los ríos o tramos de río que no están alterados. En el caso de ríos alterados, se deben determinar los objetivos ambientales que se quieren conseguir para poder definir las estrategias de gestión que potencien esos ecosistemas estresados.
 9. Hay que empezar a hablar seriamente de realizar los deslindes de nuestros ríos.
 10. Sería deseable el mantenimiento de algunos ríos en estado prístino para que sirvan como referencia del funcionamiento de un río en su estado natural, es decir, sin ningún tipo de regulación. Algunos ríos de los parques nacionales (o naturales) deberían cumplir esta función.

Los caudales ecológicos, pues, establecen la cantidad de agua que debe circular por los ríos para evitar su degradación ambiental. Generalmente, se refieren a la cantidad mínima, pero en algunos casos también hacen mención a las variaciones en el caudal, una cantidad máxima o la calidad del agua. La Ley de Aguas, después de su última modificación en 2005, establece que a efectos de la “la asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuros, así como para la conservación y recuperación del medio natural”... “se determinarán los caudales ecológicos, entendiendo como tales los que mantiene como mínimo la vida piscícola que, de manera natural, habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.” En la práctica en España, en muchas cuencas aún se usan caudales ecológicos establecidos como un porcentaje (normalmente un 10% como se ha apuntado con anterioridad) del agua disponible, siendo éste el límite debajo del cual se considera que el río no puede funcionar.

Veamos, en fin, las conclusiones relativas al caso del V Congreso Nacional del Medio Ambiente (Madrid, diciembre de 2000):

1. Los caudales ecológicos son un presupuesto de gestión o como dice el artículo 57.7 de la Ley de Aguas (LA) una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación. Por tanto, no tienen el carácter de uso a efectos de lo previsto en los preceptos que regulan el otorgamiento de concesiones, si bien a este respecto, se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones.
2. Las sentencias del Tribunal Constitucional recaídas sobre distintas Leyes autonómicas en materia de Pesca Fluvial, han confirmado que la fijación de caudales ecológicos corresponde a la Administración competente en materia de

ordenación y gestión de los recursos hidráulicos, (esto es, la estatal en las cuencas intercomunitarias y la autonómica en las intracomunitarias), sin perjuicio, obviamente, de la intervención de las administraciones con competencias concurrentes, especialmente de carácter medioambiental, a través de los distintos mecanismos de coordinación y colaboración. El Tribunal Constitucional admite también en el caso de cuentas intercomunitarias que el legislador autonómico adopte medidas de protección complementarias a las establecidas por el organismo de cuenca, con el fin de salvaguardar el recurso piscícola.

3. Salvo contadísimas excepciones la facultad de la Administración hidráulica para establecer caudales mínimos en concesiones anteriores a la Ley de Aguas es hoy indiscutida a la luz del marco normativo expuesto.

La normativa establece que serán los Planes Hidrológicos de Cuenca los que fijarán los caudales mínimos, sin establecer distinciones entre concesiones preexistentes y posteriores a la entrada en vigor de la LA, y el propio art. 2 del RD 1664/1998 contempla expresamente la posibilidad de revisar concesiones al objeto de adaptarlas a la planificación hidrológica.

Dicha revisión generará el correspondiente derecho a indemnización por parte del concesionario, de conformidad con lo dispuesto en la legislación general de expropiación forzosa, en aplicación de lo dispuesto en el artículo 6 LA y 2 c) del RD 1664/1998, de aprobación de los Planes hidrológicos de cuenca.

A este respecto se han planteado las siguientes cuestiones: la implantación de caudales ecológicos en un tramo de río no tiene por qué dar lugar en todo caso a la revisión de títulos concesionales; todavía no está suficientemente debatido el alcance concreto de la expresión “de conformidad con lo dispuesto en la legislación general de explotación forzosa”.

4. Para implantar caudales ecológicos es preciso, en primer lugar, definir los tramos de río y, en segundo lugar, determinar qué método es el más adecuado para cada uno de los tramos previamente definidos. Debido a la variabilidad climática (de norte a sur) y geológica (de este a oeste) de la península, existen una diversidad de criterios a aplicar en cada cauce. Actualmente ya se conocen diversos métodos igualmente útiles para definir el caudal que se ha de aplicar en cada tramo de río, por lo que se considera más interesante establecer de entrada caudales aproximados, que discutir cuál es el mejor método a aplicar, pues el ajuste final se obtendrá mediante modelos de ensayo-error para comprobar la adecuación definitiva de los caudales a implantar.

5. Muchos de nuestros ríos quedan estacionalmente secos por ausencia de aportaciones naturales. En estos casos las especies que los habitan han diseñado adaptaciones para pasar este período de sequía. Por ello no es razonable pretender que tengan continuidad de caudales durante todo el año, sino utilizar valores estadísticos diferentes de las medias, varianzas o desviaciones típicas, como la mediana, para caracterizar la dispersión, pues la media en muchos casos no es representativa de ninguna representación de caudales en el río. En este sentido, se ha propuesto utilizar la variación estacional de caudales o sugerir

modelos que contemplen la posibilidad de caudales negativos, a interpretar como nulos para un periodo de tiempo en el año. Se considera indispensable una calibración final de los resultados para implantar el caudal ecológico en un tramo de río.

6. La geología juega un importante papel en la disminución de caudales en estiaje, pues puede suceder que la superficie del acuífero no coincida con la de cuenca hidrográfica, disminuyendo el caudal a pesar de drenar cuencas de mayor superficie. Para saber la duración de los estiajes se puede aplicar la constante de recesión y utilizar la ecuación clásica de descarga en un acuífero.

Las especies (tolerantes, facultativas o especialistas según el caudal) pueden indicarnos cuál es el límite permisible de disminución de los caudales, aunque los distintos grupos biológicos no tienen el mismo valor como indicadores de grado de la perturbación que se ha producido.

7. El concepto de Caudal Ecológico debe extenderse como Volumen de Captación a las aguas subterráneas y a las restantes aguas epicontinentales no fluyentes.

8. Para la implantación de los caudales también es necesario realizar un inventario de la biodiversidad y caudal biológica de las aguas por cuencas. Una vez implantado es preciso efectuar el control y seguimiento de los sistemas acuáticos y su biodiversidad, para comprobar su efectividad. Es evidente que esta actuación tiene un elevado coste económico, aunque no esté tan claro cuáles son los instrumentos de financiación de la misma.

9. Los aspectos de conservación o recuperación del medio natural o de protección o conservación del recurso y su entorno (art. 58.1 Ley de Aguas) incluyen el caudal sólido y la morfología o evolución de los cuerpos sedimentarios (fluviales, deltaicos o litorales) que de él dependen. Estos aspectos no se han tenido en cuenta hasta el momento en nuestro país, aunque sí en métodos numéricos de cálculo como el MICE (Método Incremental de los Caudales Ecológicos), donde en el macrohábitat se contempla la sedimentación como elemento sustancial, además de otros parámetros como la calidad del agua y la temperatura.

En el caso del delta del Ebro se ha puesto de manifiesto la necesidad de recuperar el transporte fluvial de sólidos hasta la desembocadura mediante generación de avenidas reguladas que aseguren caudales de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ varias veces al año, o bien mediante la apertura de los desagües de fondo de los embalses. Esta medida ha sido calificada de indispensable para salvar la integridad territorial del Delta y la fauna marina asociada al mismo, y por tanto debería adoptarse independientemente de la aprobación del Plan Hidrológico Nacional.

10. Hay estimaciones de lo que supondría el coste de la implantación de caudales mínimos, que ascienden a unos 7.800 millones de ptas./año (unos 60 millones de euros anuales del año 2009) si se tienen en cuenta los criterios de modulación establecidos en cada una de las Administraciones Públicas sobre la gestión de caudales mínimos.

11. El diseño ideal del río, debe ser consensuado entre los usuarios, lo que exige, ante todo, establecer un vínculo de comunicación entre la Administración (brazo político), la industria que usa el agua (sobre todo aprovechamientos hidroeléctricos) y los ciudadanos, entre los que adquieren gran protagonismo los pescadores, que lideran todas las campañas de recuperación de caudales en los cauces. El consenso necesario debe fijar claramente el diseño del río, repartir su gestión entre las partes y establecer las reglas que garanticen el uso equitativo y sostenible del agua.

12. Los “Contratos de Río” son una buena estrategia de gestión, entre otras cosas porque al pragmatismo de sus planteamientos se le añade el sentido común (tan común que a veces no se valora), ofreciendo las suficientes posibilidades de gestión y al mismo tiempo las necesarias garantías de conservación de los ecosistemas fluviales. Este sistema ya ha sido utilizado en otros países, y si bien para su aplicación en España sería precisa su previsión legal, así como un esfuerzo por parte de todos los sectores implicados, es una opinión unánimemente aceptada que podría ser la solución para implantar efectivamente los caudales en la mayoría de los casos con agilidad y eficacia.

2. CONCEPTOS BÁSICOS PARA UN PROTOCOLO DE ESTABLECIMIENTO DE CAUDALES MÍNIMOS MEDIOAMBIENTALES

En el excelente trabajo de A. PALAU (1994) se señalan los conceptos que forman la propuesta del protocolo o régimen de mantenimiento de un río aguas abajo de un aprovechamiento hidráulico, como es el caso del tramo inferior del río Ebro, que es objeto de nuestro estudio, aguas abajo del sistema de embalses Mequinenza-Ribarroja-Flix. Son los ocho siguientes:

1. **Caudal base (Q_b).** Se define como el caudal mínimo necesario para el mantenimiento de las características esenciales y la estructura de la comunidad natural acuática, basándose en criterios estrictamente hidrológicos, personalizados y propios de cada ambiente fluvial considerado. Es un concepto clave de la propuesta, porque encierra la mayor parte de su filosofía y supone una vía de cálculo de caudales de mantenimiento.

2. **Caudal de acondicionamiento (Q_c).** Como consecuencia de modificaciones significativas de las características del cauce, de la estructura trófica de las comunidades acuáticas, etc. podría ser que el caudal base resulte insuficiente para que, en el tramo de aplicación, el río conserve o permita prosperar un determinado nivel trófico, un valor específico, o, en general, un componente biótico o abiótico predefinible, de reconocido o reconocible interés. En tal caso puede ser necesario ampliar el caudal base hasta un valor que garantice (o intente garantizar) la preservación del objetivo considerado. Este caudal adicional sería el caudal de acondicionamiento; es decir el caudal que satisface un determinado nivel hidráulico-biológico, establecido bien sea por la legislación medioambiental competente o por un criterio profesional plenamente justificado. La suma del caudal base y del caudal de acondicionamiento se denomina caudal estándar (Q_e).

3. **Factor de variabilidad estacional (f_e).** Los dos caudales anteriores darán, en suma, un valor constante en su aplicación a lo largo del tiempo. Como es bien sabido, la variabilidad natural ordinaria del caudal en el tiempo constituye un aspecto fundamental en la organización de las comunidades acuáticas. Se trata, por tanto, de una “información” que hay que mantener al alcance de estas comunidades, si se quiere conservar su organización y estructura lo más próximas posible a la referencia natural. Debe existir, por tanto, un factor de variabilidad temporal que aplicado al caudal estándar permita seguir, aunque de forma atenuada, las tendencias de variación en el tiempo del hidrograma natural, incluidos los casos de ríos sujetos a caudales naturales intermitentes.

4. **Caudal de mantenimiento (Q_m).** Se define como el caudal que pretende garantizar la conservación de un nivel admisible de organización y estructura biológica de las comunidades naturales acuáticas, tanto a nivel espacial como temporal.

5. **Caudal generador (Q_g).** La modulación temporal del caudal de mantenimiento no es suficiente para mantener la identidad del cauce ordinario del río ni para la necesaria regeneración periódica del sustrato, la zona hiporreica y la ribera. Para la consecución de tales objetivos es necesario aplicar lo que en términos anglosajones se denomina “*bank-full discharge*”, que podría traducirse como el caudal de plena ocupación de la sección ordinaria. Este caudal debe hacerse pasar por el río durante un corto espacio de tiempo.

6. **Caudal máximo admisible (Q_a).** Puede parecer paradójico plantear una limitación de caudales máximos, en una propuesta para el establecimiento de caudales mínimos. Ciertamente no lo es, en primer lugar porque la propuesta no es de caudales mínimos (y eso debe quedar muy claro) sino de caudales de mantenimiento. La paradoja también desaparece si se tiene en cuenta que un río sometido a caudales superiores a los propios por periodos de tiempo largos, modifica sus características de equilibrio hidrogeomorfológicas, con consecuencias negativas a varios niveles (sinuosidad, granulometría del lecho, pendiente, riberas, etc.) cuando posteriormente se revierte a caudales menores, bien sea de forma temporal (estacionalidad) o definitiva. Debe indicarse que no vale la comparación con las situaciones derivadas de las crecidas, aunque éstas tengan un carácter extraordinario, ya que la frecuencia temporal de su manifestación es muy inferior. Se hace necesario, por tanto, acotar por arriba los posibles regímenes artificiales de los aprovechamientos hidráulicos, en aquellos casos en que comporten un aumento importante y prolongado de los caudales circulantes ordinarios. Esta limitación se recoge con el concepto de caudal máximo. En nuestro trabajo se ha introducido también la determinación de los caudales máximos, aunque no habiendo considerado como tales los equivalentes a la media aritmética de las avenidas máximas anuales, sino los resultantes aritméticos de los caudales mínimos y los medios.

7. **Tasa de cambio de caudal por unidad de tiempo (K).** Las fluctuaciones de caudal de alta frecuencia, como las que imprimen algunos regímenes de aprovechamiento hidroeléctrico, pueden ser factores más condicionantes para las comunidades acuáticas de aguas abajo, que incluso un caudal de mantenimiento inadecuado. Es necesario, por tanto, establecer una tasa de cambio de caudal por unidad de tiempo para todo el intervalo de caudales regulados, que sea compatible con la capacidad de respuesta y de habituación de las comunidades naturales acuáticas, diferenciando claramente entre la fase de ascenso y la de descenso de caudal.

8. **Calidad del agua suministrada (I_q).** Al igual que en el caso de las fluctuaciones de nivel, un caudal de mantenimiento bien dimensionado no sirve de gran cosa si la calidad del agua no es suficiente, bien sea por causas directas (por ejemplo, suministro de caudales regulados desde el hipolimnion de un embalse eutrófico) o indirectas (por

ejemplo, derivación de caudales y pérdida de capacidad de dilución o renovación frente a posibles aportaciones laterales de aguas de diferente calidad). Es necesario contar con algún criterio de la calidad mínima admisible del agua suministrada desde el aprovechamiento hidráulico.

ANEXO 6

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE HIDROMETRÍA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Gran parte de los problemas de la administración del agua radica en la deficiencia de controles del caudal en los sistemas hidráulicos. La Hidrometría se encarga particularmente de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río o arroyo, por lo que sus técnicas resultan útiles para la determinación de los caudales ecológicos que deben circular por dichos cauces naturales libres.

1.2. CONCEPTO Y DEFINICIONES

A) Hidrometría

En su forma clásica, se define la “hidrometría” como la parte de la hidrología que tiene por objeto medir el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo dentro de una sección transversal del flujo o corriente.

La hidrometría, aparte de medir el caudal del agua circulante por una conducción libre (por gravedad) o forzada (a presión), comprende también el planear, ejecutar y procesar la información que se registra de un sistema de riego de una cuenca hidrográfica, o de un sistema urbano o industrial de distribución del agua. En este contexto, la hidrometría tiene dos propósitos generales:

- a. Conocer el volumen de agua disponible en la fuente (hidrometría a nivel de fuente natural).
- b. Conocer el grado de eficiencia de la distribución del recurso (hidrometría de la operación).

B) Sistema hidrométrico

Es el conjunto de pasos, actividades y procedimientos tendentes a conocer (medir, registrar, calcular y analizar) los volúmenes de agua que circulan en los cauces y canales de un sistema hidráulico, con el fin de programar, corregir y mejorar la distribución del agua en el mismo. El sistema hidrométrico tiene, como soporte físico, una red hidrométrica más o menos compleja.

C) Red hidrométrica

Es el conjunto de puntos de medición del agua, estratégicamente ubicados en un sistema hidráulico, de tal forma que constituya una red que permita interrelacionar la información obtenida.

D) Puntos de control

Son los puntos donde se registran los caudales que pasan por la sección transversal aludida. Los puntos de control son de gran variedad de tipos, como por ejemplo: estaciones hidrométricas en el río, la presa de almacenamiento, las compuertas de la estructura de captación o de toma, las obras de toma del canal principal, las caídas, vertederos, medidor Parshall, etc.

E) Registro de datos

Es la colección de todos los datos que nos permiten cuantificar el caudal que pasa por la sección de un determinado punto de control.

El registro de caudales y volúmenes de riego se ejecuta de acuerdo a las necesidades de información requeridas para la gestión del sistema. Los registros se efectúan en el momento de realizar el aforo o mediciones en miras graduadas o reglas, dependiendo del método de aforo empleado.

Dependiendo también de la ubicación del punto de control, los registros obtenidos son los siguientes:

- Registro de los caudales en los ríos de la cuenca hidrográfica.
- Registro de salidas de agua de los reservorios.
- Registro de caudales captados y que entran al sistema de riego.
- Registro de distribución de caudales de agua en canales del sistema de riego.
- Registro de caudales entregados para el riego en la parcela de cultivo.

F) Reporte

Es el resultado del procesamiento de un conjunto de datos obtenidos, en el cual normalmente una secuencia de caudales medidos se convierte en un volumen por período mayor ($\text{m}^3/\text{día}$, m^3/mes , $\text{hm}^3/\text{año}$, etc.).

G) Medición del caudal de agua

La medición del caudal o gasto de agua que pasa por la sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal, tubería) de agua, se conoce como “aforo o medición de caudales”. Este caudal, como es sabido, depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y de la velocidad media del agua en dicha sección.

La fórmula que representa este concepto es la siguiente:

$$Q = A \times v ,$$

donde generalmente se adoptan las siguientes unidades:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = \text{Caudal o Gasto (m}^3/\text{seg.)}. \\ A = \text{Área de la sección transversal (m}^2\text{)}. \\ v = \text{Velocidad media del agua en el punto analizado (m/seg.)}. \end{array} \right.$$

2. IMPORTANCIA

La función principal de la hidrometría es proveer de datos oportunos y veraces que, una vez procesados, proporcionen información adecuada para lograr una mayor eficiencia en la programación, ejecución y evaluación del manejo del agua en un sistema hidráulico. A su vez, el uso de una información ordenada nos permite:

- a. *Dotar de información para el ajuste del pronóstico de la disponibilidad de agua.* Mediante el análisis estadístico de los registros históricos de caudales de la fuente (río, aguas subterráneas, etc.), nos es posible conocer los volúmenes probables de agua que podemos disponer durante los meses de duración de la campaña agrícola. Esta información resulta de suma importancia para la elaboración del balance hídrico, la planificación de siembras y el plan de distribución del agua de riego.
- b. *Monitorear la ejecución de la distribución.* La hidrometría proporciona los resultados que nos permiten conocer la cantidad, calidad y la oportunidad de los riegos, estableciendo si los caudales previstos en el plan de distribución son los realmente entregados y, sobre esta base, decidir la modificación del plan de distribución, en el caso de que así sea necesario.
- c. Además de las utilidades anteriormente expresadas, la hidrometría nos sirve para *determinar la eficiencia en el sistema de riego* y, eventualmente, como información de apoyo para la solución de los conflictos que puedan presentarse entre las partes implicadas (usuarios, Administración, ...).

3. MEDICIÓN DEL CAUDAL DEL AGUA

3.1. MÉTODOS DE MEDICIÓN

Para efectuar mediciones en las corrientes líquidas se utilizan, en ingeniería, una gran variedad de dispositivos. A continuación, vamos a contemplar aquellos métodos de medida cuyo uso resulta más generalizado en la práctica. Conviene advertir que para el uso correcto de los instrumentos de medida es preciso previamente conocer sus características y coeficientes, siendo

necesario, en la mayoría de los casos, realizar el calibrado de los mismos de acuerdo con las aplicaciones del proceso¹.

Los métodos de aforo más utilizados, amén del empleo de los clásicos tubos de Pitot-Darcy y Venturi, que no se detallarán, son los siguientes:

1. Velocidad y sección mojada.
2. Estructuras hidráulicas.
3. Método volumétrico.
4. Método químico.
5. Método combinado. Calibración de compuertas.

3.1.1. Velocidad y sección mojada

Los métodos de aforo basados en este método son los más empleados; se requiere medir el área de la sección transversal del flujo de agua y la velocidad media de este flujo. Se emplea la expresión:

$$Q = A \times v ,$$

donde:

- $$\left\{ \begin{array}{l} Q \text{ es el caudal del agua.} \\ A \text{ es el área de la sección transversal del flujo de agua.} \\ v \text{ es la velocidad media del agua.} \end{array} \right.$$

Generalmente, en el caso de los caudales ecológicos, el caudal Q se expresa en litros por segundo (L/s.) o bien en metros cúbicos por segundo (m^3/s). En la ecuación anterior, si Q el caudal se expresa en m^3/s , A se expresa en m^2 y v en m/s , V se expresa en m^3 y T , que es el tiempo, viene expresado en segundos.

Es fácil convertir m^3/s a L/s, sabiendo que $1 m^3$ equivale a 1.000 litros. La abreviatura L/s, se puede expresar también como LPS (litros por segundo).

El problema principal es medir la velocidad media en los ríos o cauces naturales, ya que la velocidad varía en los diferentes puntos del interior de una masa de agua. Los métodos más conocidos de aforos de agua son los siguientes:

- a. Método del correntómetro o molinete.
- b. Método del flotador.
- c. Método usando dispositivos especiales, tales como: vertederos y canaletas (Parshall, trapezoidal, sin cuello, orificio, etc.).
- d. Otros.

¹ Vide TORRES SOTELO, J.E. *Apuntes de hidráulica general y agrícola. Primera y Segunda Parte*. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Valencia, 1970. Obra citada en la bibliografía.

Para la medición del agua circulante por un cauce natural, pues, existen varios métodos, siendo los más utilizados el método del correntómetro y el método del flotador. Veámoslos a continuación:

3.1.1.1. Método del correntómetro o molinete

En este método, la velocidad del agua se mide por medio de un instrumento llamado “correntómetro” que mide la velocidad en un punto dado de la masa de agua. Un tipo bien conocido es el denominado “molinete de Woltmann”.

Existen varios tipos de correntómetros, siendo los más empleados los de hélice de los cuales hay de varios tamaños; cuanto más grandes sean los caudales o más altas sean las velocidades, mayor debe ser también el tamaño del aparato. Cada correntómetro debe tener un certificado de calibración en el que figura la fórmula necesaria para calcular la velocidad del agua sabiendo el número de vueltas o revoluciones de la hélice por segundo. Estos correntómetros se calibran en laboratorios de hidráulica; una fórmula de calibración, como la empleada en nuestro estudio, es la siguiente:

$$v = a n + b$$

donde:

- v es la velocidad del agua, expresada en m/s.
- n es el número de vueltas de la hélice por segundo.
- a es el paso real de la hélice en metros.
- b es la llamada velocidad de frotamiento en m/s.

Como el correntómetro mide la velocidad en un punto determinado, para obtener la velocidad media de un curso de agua se debe, en ciertos casos, medir la velocidad en dos, tres o más puntos, a diversas profundidades a lo largo de una vertical y a partir de la superficie del agua.

Las profundidades en las cuales se miden las velocidades con el correntómetro se hallan en función de la altura del tirante de agua d , siguiendo los parámetros establecidos en la siguiente tabla:

Tirante de agua (d)	Profundidad de lectura del correntómetro
Cm	Cm
< 15	$d / 2$
$15 < d < 45$	$0,6 \cdot d$
> 45	$0,2 \cdot d$ y $0,8 \cdot d$ $0,2 \cdot d$, $0,6 \cdot d$ y $0,8 \cdot d$

En general, la velocidad media a lo largo de un tirante se determina tomando la media de las velocidades a 0'2 y 0'8 del tirante, según las recomendaciones del Departamento de Investigaciones Geológicas de los Estados Unidos, esto es, aplicando la fórmula:

$$V = \frac{1}{2} (\text{Velocidad a 0'2 del tirante} + \text{Velocidad a 0'8 del tirante}).$$

Conocidas ya las profundidades de lectura, se calcula el área de la sección transversal mojada, que se utilizará para el cálculo del caudal. Así, como siempre:

$$Q = v \times A,$$

donde:

$$\begin{cases} v = \text{velocidad determinada con el correntómetro o molinete.} \\ A = \text{Área de la sección mojada transversal correspondiente.} \end{cases}$$

La distribución de velocidades en una corriente libre resulta muy importante cuando se desea determinar el caudal usando un medidor de velocidad, que es un instrumento construido de tal manera que la velocidad angular de su elemento giratorio (hélice o sistema de álabes) es proporcional a la velocidad de la corriente. Un ejemplo característico es el del molinete de Woltmann, anteriormente citado. Mediante un circuito eléctrico, los valores de la velocidad son registrados en un cuentarrevoluciones. Las isotacas -curvas similares a las de nivel en topografía- que unen los puntos de igual velocidad en una sección transversal, suelen obtenerse por interpolación a partir de las medidas puntuales realizadas con el medidor de velocidad.

3.1.1.2. Método del flotador

El método del flotador se utiliza cuando no se poseen equipos de medición y para este fin se tiene que conocer el área de la sección y la velocidad del agua. Para medir la velocidad se utiliza un flotador con el se mide la velocidad del agua de la superficie, pudiendo utilizarse como flotador cualquier cuerpo pequeño que flote: como un corcho, un pedacito de madera, una botellita lastrada. Este método se emplea en los siguientes casos:

- A falta de un correntómetro o molinete.
- Excesiva velocidad del agua, que dificulta el uso del correntómetro.
- Presencia frecuente de cuerpos extraños en el curso del agua, que dificulta el uso del correntómetro (algas, ramas, bloques de hielo,...).
- Cuando peligra la integridad física de la persona que efectúa el aforo.
- Cuando peligra la integridad del correntómetro.

Por lo que se refiere a la distribución de la velocidad en una sección transversal, siguiendo al profesor Torres Sotelo², veamos que en el flujo en canales la distribución de velocidades depende, entre otros factores, de la geometría del contorno, la rugosidad de las paredes y el caudal. Las velocidades aumentan generalmente con la distancia a las paredes y al fondo, registrándose los mínimos valores junto a éstas.

En canales artificiales de secciones regulares, la velocidad máxima se da en el eje de simetría de la sección transversal, un poco más debajo de la superficie libre del líquido, debido a la escasa resistencia que ofrece el aire, a una distancia de 0'05 a 0'25 del calado (media a: 0'15 × h).

En las secciones que son irregulares, como es el caso de los ríos o arroyos, el eje de la velocidad máxima generalmente se encuentra en la vertical que define el tirante máximo.

Esta velocidad media suele variar entre 0'75 y 0'90 veces la velocidad en la superficie según se trate de cauces naturales pequeños o grandes, respectivamente.

Se han calculado diversas fórmulas empíricas que relacionan la velocidad media V , con la velocidad superficial V_s y la velocidad próxima al fondo V_f ; entre ellas citaremos la de Dubuat, a saber:

$$V_f = 2 \cdot V - V_s$$

y como para valores de V_s comprendidos entre 0'2 y 1'5 m/s se admite, la expresión:

$$V = 0'8 \cdot V_s$$

Sustituyendo en la expresión anterior, resulta:

$$V_f = 1'6 \cdot V_s - V_s = 0'6 \cdot V_s$$

o bien, en función de la velocidad media, se tiene una velocidad próxima al fondo de:

$$V_f = 2 \cdot V - V/0'8 = 0'75 \cdot V$$

El cálculo final consiste en aplicar las fórmulas simples y bien conocidas:

$$Q = A \times v, \text{ y también: } v = e/t,$$

² Vide: “Apuntes de hidráulica general y agrícola. Primera y Segunda Parte”. Citado en la bibliografía.

en que:

$$\left\{ \begin{array}{l} v \text{ es la velocidad media expresada en m/s. (un 80\% de la velocidad} \\ \text{superficial } V_s \text{ que nos ofrece el método del flotador, para una velocidad} \\ \text{superficial de 0'7-0'8 m./seg., a falta de determinaciones más precisas).} \\ e \text{ es el espacio recorrido en m. por el flotador.} \\ t \text{ es el tiempo en segundos del recorrido } e \text{ por el flotador.} \\ A = \text{Área de la sección transversal.} \\ Q = \text{Caudal ecológico.} \end{array} \right.$$

3.1.1.3. Distribución de velocidades en la sección transversal

En un caso más general, las relaciones existentes entre las velocidades media y superficial de una corriente natural anteriormente definidas vienen dadas por la expresión:

$$V = n \cdot V_s$$

siendo V la velocidad media de la sección mojada transversal del cauce de esta conducción libre artificial, V_s la velocidad superficial y V_f la próxima al fondo del canal, tomando n los valores siguientes, en función de la velocidad superficial:

$V_s(\text{m./seg})$	0'10	0'25	0'50	1'00	1'50	2'00	3'00
n	0'76	0'77	0'79	0'81	0'83	0'85	0'87

cuyos valores intermedios pueden interpolarse fácilmente (lineal o parabólicamente), y siendo: $V = (1/3) \cdot (2 \cdot V_s + V_f)$, que constituye una expresión alternativa a la anteriormente expresada de Dubuat, debida a Bazin, que ofrece valores de las velocidades estudiadas ligeramente diferentes.

La representación gráfica de la función anterior $n = f(V_s)$ ofrece, teniendo también en cuenta la formulación de R. Prony que veremos posteriormente, el siguiente resultado:

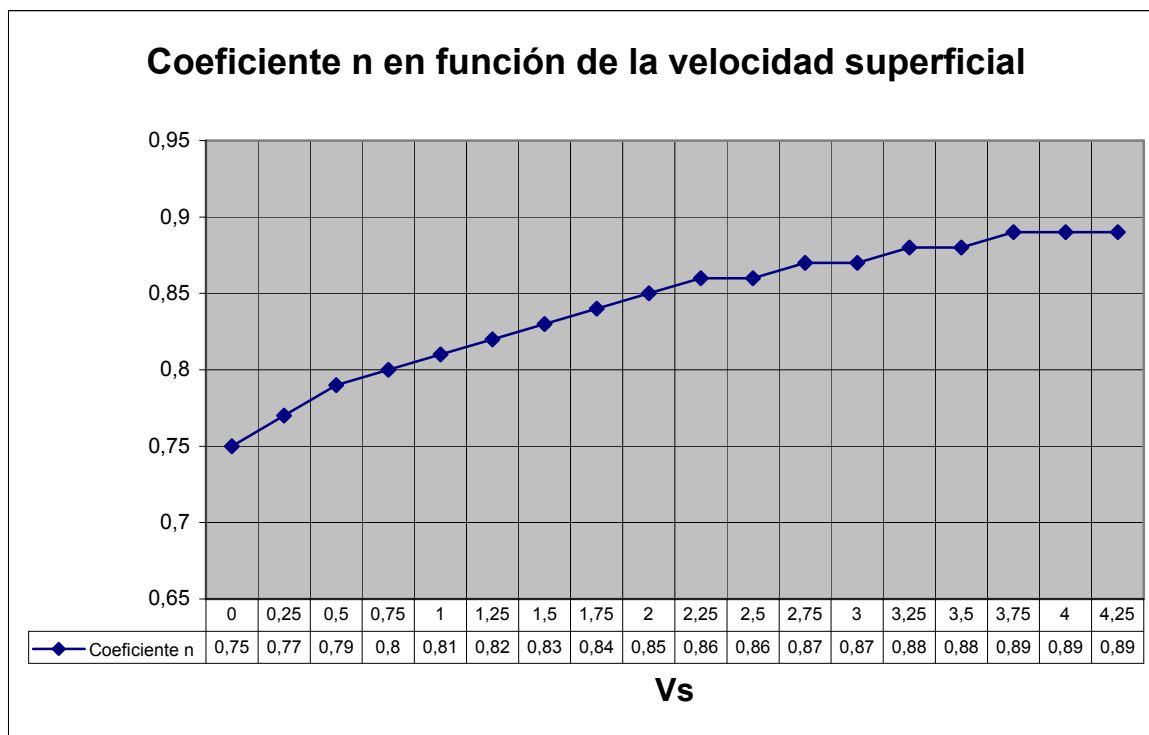


Fig. A6-1. Representación gráfica de la función $n(V_s)$.

Lo mismo podría afirmarse de otra expresión también debida a Bazin, a saber:

$$V = \frac{V_s}{1 + 14 \sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}}$$

en función de la naturaleza más o menos rugosa de las paredes y fondo así como del radio hidráulico medio del cauce natural en estudio, que ofrece parecidos resultados a los deducidos de la formulación de Dubuat.

R. Woltmann opinaba que la ley de distribución de las velocidades puede ser representada por una parábola de eje vertical, cuyo vértice corresponde a la zona de velocidad nula, en el supuesto de que el agua tenga suficiente profundidad como para alcanzarla. No obstante, el segmento de parábola comprendido entre la superficie libre de la lámina de agua y la solera del cauce apenas difería de una línea recta. J. A. Eytelwein, por razones de sencillez, adoptó esta recta y propuso la siguiente fórmula (expresada en el sistema métrico):

$$V = (1 - 0'0127 \cdot h) V_s$$

que ofrece valores sensiblemente superiores a los de la formulación de Dubuat.

R. Prony atribuía a la fórmula de Dubuat el inconveniente de que, para corrientes de muy escasa velocidad media, conducía a la consecución de resultados evidentemente falsos, o sea a $V_f = 0$ m./seg. para una velocidad superficial de $V_s = 0'027$ m./seg. y a $V_f = 0'027$ m./seg. para $V_s = 0$ m./seg.; dedujo así, de las observaciones del mismo Dubuat, que:

$$V = \frac{V_s + 2'372}{V_s + 3'153} \times V_s$$

, cuyos resultados son coincidentes con la tabla y gráfica anterior, o bien la expresión más simple e intermedia: $V = 0'816 \cdot V_s$, que ofrecen ambas resultados más coincidentes con las expresadas determinaciones de Dubuat.

Mientras que, según Bazin, la velocidad varía muy poco en las proximidades de la superficie, según Hagen esta variación debería ser muy rápida, lo cual hállase en desacuerdo con la experiencia. En un ulterior trabajo, Hagen propuso la fórmula:

$$V = V_s (1 - 0'0582 \cdot \sqrt{h})$$

Harder, basándose en la fórmula obtenida experimentalmente para las curvas de distribución de velocidades en la vertical media, empleaba dos elipses que presentan una tangente común vertical en el punto de máxima velocidad. C. Hessle sustentaba la opinión de que solera y superficie libre influyen de análogo modo sobre las velocidades, y supuso que la velocidad V , en un punto cualquiera, era la suma de una parte constante y otra variable según dos segmentos parabólicos tangentes entre sí. Las parábolas de grado superior tienen la propiedad de aproximarse primeramente mucho al eje de abscisas para separarse luego de él con gran rapidez. Por tanto, si la velocidad en la solera ha de ser nula y, sin embargo, en las capas superiores el agua ha de fluir rápidamente, puede con facilidad representarse matemáticamente tal distribución mediante dichas parábolas o funciones polinómicas. No obstante, parece más lógico aceptar el punto de vista de que se admiten distintas leyes para el movimiento en la proximidad de la solera y en el resto de la masa líquida, es decir, iniciar la curva de esta última parte con una abscisa distante de cero. Por otro lado, la confirmación experimental de la distribución, según parábolas de grado superior, no se cumple en muchos casos.

Es de resaltar, por último, la formulación de Siedeck, que para profundidades medias comprendidas entre 0'80 y 2'00 m., ofrece la relación:

$$V = V_s \times \sqrt[20]{\frac{h^2}{B}}, \text{ siendo } B \text{ (anchura media del cauce)}$$

que también puede alejarse bastante, por cierto, de la expresada formulación de Dubuat.

Por otra parte, en el excelente trabajo titulado “Determinación de los perfiles de velocidades del Bajo Ebro entre Tortosa y Amposta”, citado en la bibliografía, llevado a cabo por el Departamento de Hidráulica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, mayo de 1985), que hemos tratado también en el capítulo 9 y anexo 2 de nuestro libro, se estudian las velocidades del agua en los puntos más próximos al fondo (V_f) expresadas en m./seg. (a una distancia de 20 a 25 cm. del fondo) y que están resumidas en la tabla siguiente (34 medidas):

PERFIL → VERTICAL ↓	7	8	14	16	19	23	1	5	24	$\overline{V_f}$
1	0'57	1'02	0'48	0'70	0'27	0'64	0'55	0'52	0'62	0'60
2	0'87	0'97	0'66	0'76	0'53	0'64	0'90	0'53	0'65	0'72
3	0'83	0'73	0'64	0'78	0'55	0'62	0'70	0'51	0'52	0'65
4	0'95	-	-	0'82	-	-	0'75	0'48	-	0'75
5	0'78	-	-	0'96	-	-	-	0'52	-	0'75
$\overline{V_f}$	0'80	0'91	0'59	0'80	0'45	0'63	0'73	0'51	0'60	0'68
\overline{V}	1'03	1'16	0'81	1'07	0'59	0'78	0'92	0'69	0'77	0'87
$\frac{\overline{V_f}}{\overline{V}} \times 100$	78%	78%	73%	75%	76%	81%	79%	74%	78%	77%

Tabla A6-1. Velocidades próximas al fondo.

Así pues, la relación experimental obtenida entre la V_f y la V , en este caso, es la siguiente:

$\frac{V_f}{V} = 0'77$; $V_f = 0'77 \times V$, que difiere algo de la que propugna Dubuat ($V_f = 0'75 \times V$), según puede comprobarse en nuestros estudios (FRANQUET, 2003).

Respecto a la distribución de velocidades en la vertical se observa que en la mayoría de las verticales la velocidad máxima se da en la superficie (correspondiente a la medida A, situada entre 15 y 25 cm. por debajo de la superficie). La velocidad desciende regular y progresivamente con la profundidad, acentuándose la curvatura del perfil de velocidades en las proximidades del fondo. La velocidad de fondo (última medida, entre 20 y 25 cm. del fondo), cualquiera que sea el calado y la velocidad de la conducción libre, es siempre superior al 55% de la velocidad superficial, siendo frecuentes cantidades del 70 y del 75%.

De cualquier modo, las velocidades medias del agua para cada perfil transversal se han obtenido promediando aritméticamente todas las medidas efectuadas con el molinete, según puede verse en el cuadro correspondiente del anexo n°: 2. Dicho cálculo de las velocidades medias podría efectuarse también por el procedimiento analítico del “promedio integral” u “ordenada media”, previa la determinación de la pertinente ecuación de la parábola de las velocidades $V = f(h)$ con las profundidades, por ajuste mínimo-cuadrático no lineal, para cada caso. Recordemos que este concepto deriva en el cálculo infinitesimal del conocido “teorema de la media”, a saber:

$$\int_a^b V(h) \cdot dh = \mu(b-a) = f(\xi)(b-a),$$

siendo $h = b$ y $h = a$ las cotas respectivas del fondo de cada sección y de la lámina de agua, con lo que la profundidad de cada vertical vendrá dada por: $H_i = b_i - a_i$. De este modo, el “valor medio” de la velocidad en cada vertical será:

$$V_i = \mu_i = \frac{1}{H_i} \int_a^b V(h) \cdot dh = f(\xi),$$

y para cada uno de los 9 perfiles transversales, se tendrá una velocidad media de: $\bar{V} = \Sigma V_i/n$, suponiendo que haya n verticales en cada perfil. En cualquier caso, el valor medio de la velocidad de circulación del agua por el río puede también obtenerse por aplicación del concepto de integral doble para cada vertical, siendo A el área comprendida entre la parábola de las velocidades, las ordenadas extremas y el eje de abscisas (en este caso vertical), así:

$$V_i = \frac{1}{H_i} \iint_A dh \cdot dV = \frac{1}{H_i} \int_a^b \left(\int_0^{f(h)} dV \right) \cdot dh = \frac{1}{H_i} \int_0^{f(h)} \left(\int_a^b dh \right) \cdot dV,$$

por aplicación del teorema de Fubini³ (*).

3.1.2. Estructuras hidrométricas

Para la medición de caudales también se utilizan algunas estructuras intencionadamente construidas, llamadas “medidores”. Las estructuras que actualmente se usan basadas en los dispositivos hidráulicos son: orificio, vertedero y sección crítica. Veámoslas, ahora, separadamente:

a) Orificio:

La ecuación general de descarga del orificio es la siguiente:

³ Matemático italiano (1879-1943). Fue profesor en el *Institute for Advanced Study* de Princeton. Le apodaban “el pequeño gigante” porque tenía un cuerpo pequeño y una mente grande. Aunque la conclusión del teorema de Guido Fubini se sabía desde hacía tiempo, y se la había aplicado con éxito en varios casos, no fue probada en general hasta el año 1907.

$$Q = C_d \cdot s \cdot (2gh)^{1/2}, \text{ donde:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = \text{Caudal.} \\ C_d = \text{Coeficiente de caudal o de descarga} = C_c \cdot C_v \\ C_c = \text{Coeficiente de contracción de la sección.} \\ C_v = \text{Coeficiente de velocidad.} \\ s = \text{Área o sección del orificio.} \\ g = \text{aceleración de la gravedad (9'81 m./seg}^2\text{)} \\ h = \text{tirante de agua} \end{array} \right.$$

b) Vertedero:

Pueden ser de descarga libre o ahogada, de cresta delgada o ancha. La ecuación general de los vertederos es:

$$Q = K \cdot L \cdot H^N$$

donde:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = \text{caudal.} \\ K, N = \text{coeficientes.} \\ L = \text{longitud de la cresta.} \\ H = \text{tirante de agua.} \end{array} \right.$$

c) Sección Crítica:

Es el paso de una sección estrecha hacia una más amplia, provocando un cambio del régimen, donde es posible establecer la relación tirante-gasto.

La ecuación general utilizada es:

$$Q = K \cdot b \cdot H^N$$

donde:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = \text{caudal.} \\ K, N = \text{coeficientes.} \\ b = \text{ancho de la garganta.} \\ H = \text{tirante de agua.} \end{array} \right.$$

3.1.3. Método volumétrico

Se emplea, por lo general, para la determinación de caudales muy pequeños y se requiere de un recipiente para recolectar el agua. El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen. Esto es:

$$Q = V/T, \text{ donde:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = \text{caudal en m}^3/\text{s}. \\ V = \text{volumen en m}^3. \\ T = \text{tiempo en segundos}. \end{array} \right.$$

3.1.4. Método químico

Consiste en la incorporación a la corriente de cierta sustancia química durante un tiempo dado; tomando muestras aguas abajo, donde se estime que la sustancia se haya disuelto uniformemente, se puede determinar la cantidad de sustancia contenida por unidad de volumen y de ahí obtener el caudal buscado. Obviamente, debe asegurarse la absoluta inocuidad de dicha sustancia para el ecosistema analizado.

3.1.5. Calibración de compuertas

La compuerta es un orificio, de forma generalmente cuadrangular o circular, en donde se establecen, para determinadas condiciones hidráulicas, los valores del caudal, con respecto a una abertura medida en el vástago de la misma compuerta.

Este principio es utilizado, dentro de la operación normal de una compuerta, para la construcción de una curva característica que nos permita determinar, tomando como referencia la carga hidráulica sobre la plantilla de la estructura, cuál es el gasto en litros por segundo que discurre por el orificio.

Sin embargo, al cambiar las condiciones hidráulicas del cauce natural del cual se está derivando, se produce la variación de las curvas establecidas, razón por la cual es necesario programar una secuencia de aforos para conocer cuál es el grado de modificación de la curva utilizada.

3.2. SECCIÓN DE MEDICIÓN

El lugar donde se va a efectuar la medición se conoce como la “sección transversal del curso de agua”. El lugar donde se va a medir la velocidad del agua debe estar emplazado en un tramo del cauce donde el flujo de agua tenga las siguientes características:

1. Los filetes líquidos sean paralelos entre sí.
2. Las velocidades sean suficientes para una buena utilización del correntómetro, en caso de que se utilice este instrumento en la operación de medida.
3. Las velocidades son constantes, para una misma altura del tirante de agua.

La primera característica exige, a su vez, escoger:

1. Un tramo recto de cauce, tal que sus márgenes sean rectas y paralelas.
2. Un lecho estable, y
3. Una sección transversal de flujo relativamente constante a lo largo del tramo recto.

3.3. CALIBRACIÓN DE LA SECCIÓN

Tanto el área de la sección transversal mojada como la velocidad del agua pueden variar con los cambios de altura en el nivel de la lámina del agua; si hacemos esto en una sección adecuada, esta relación es generalmente fija, circunstancia que podemos aprovechar para que, una vez conocida esta relación entre nivel del agua, sección transversal y velocidad, puedan obtenerse y registrarse los caudales mediante una escala de alturas, que indica la variación del caudal.

Cuando una sección está calibrada significa que se conoce la variación de la altura del nivel del agua y el caudal. Para el caso de medidores y vertederos existen las fórmulas adecuadas en función de la altura y en los casos de los ríos y arroyos se tienen las curvas de calibración llamadas ($h - Q$).

3.4. REGISTROS DE MEDICIÓN

Definidos ya los puntos de medición, los métodos de aforo y establecidas las responsabilidades del personal, se procede a la ejecución de las observaciones y mediciones que luego deberán registrarse en los formatos siguientes:

- Registro de aforos con correntómetro.
- Resumen mensual de lectura de escalas.
- Resumen mensual de aforos en estaciones.
- Registro mensual de aforos en medidores.
- Análisis de pérdidas por distribución de agua por estación de aforo.
- Pérdidas entre volúmenes asignados y recibidos.
- Informe mensual de entrega de agua.

4. LA RED HIDROMÉTRICA

4.1. DEFINICIÓN

La red hidrométrica es el conjunto de estaciones de medición que se tiene dentro de un sistema que puede ser: de riego, hidrográfico o de agua potable. Este conjunto de estaciones debe ser planeado con la finalidad de determinar el caudal que circula en toda la red y conocer, en el caso concreto de un sistema de riego, cuáles son los caudales o volúmenes recibidos por el sistema, cuáles los entregados y cuáles los perdidos. En la secuencia o protocolo a seguir para la aplicación de la rutina de **hidrometría**, se distinguen las siguientes etapas, que se exponen en los dos siguientes epígrafes.

4.2. ANÁLISIS DE LA EXISTENCIA Y PERTINENCIA DE LA RED HIDROMÉTRICA

Una de las funciones de quien tiene a su cargo la operación del sistema, debe ser analizar la pertinencia de que el sistema analizado, cuente con una red hidrométrica y un procedimiento para registrar y procesar la información. Este análisis comprende establecer la comparación entre el beneficio que otorga la existencia de una red hidrométrica y los costos reales que representan su implementación o mejoramiento y su operación.

La operación y control de la red hidrométrica es de gran importancia porque permite conocer, graduar y controlar la información hidrológica en el ámbito de tomas directas, de tomas principales y secundarias de las comunidades de regantes; además permite hacer el seguimiento o monitoreo de la campaña agrícola en caso de facturación del agua de riego, actividades de cobranza (volúmenes entregados, volúmenes facturados), análisis de eficiencia de la red y/o pérdidas (sistema, conducción, distribución), así como también tener actualizada la base de datos hidrológicos.

4.3. VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE FUNCIONAMIENTO DE LA RED HIDROMÉTRICA Y CALIBRACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE MEDICIÓN

Es necesario determinar cada año el comportamiento hidráulico de las estructuras instaladas en un sistema de riego. Por esta razón es conveniente, dentro de un grupo de estaciones, escoger y efectuar aforos para los gastos mínimos, medios y máximos que pueda medir la estructura y calcular la discrepancia con los aforos; las curvas así obtenidas no deben ser mayores a un 5% de desviación. Esta acción debe realizarse periódicamente cada año.

5. SISTEMA ESTADÍSTICO DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA (SEIH)

5.1. ESTABLECIMIENTO DE MÉTODOS Y FORMATOS DE REGISTRO

La información obtenida en la red a través de las estaciones de medición requiere el establecimiento de los métodos y formatos de registro. En este sentido, a fin de que las labores a ejecutar tengan el éxito deseado, es necesario que la acción vaya anticipada de la planificación de las tareas a realizar. Esto significa, entre otros aspectos, definir el objetivo de las acciones que se plantea ejecutar. Asimismo, resulta conveniente fijar las actividades y metas a alcanzar. Para establecer las metas es aconsejable la división del sistema en áreas de control hidrométrico, las cuales deberán ser marcadas en un plano y establecida la responsabilidad del personal participante.

Determinados ya los sitios donde se efectuarán los aforos, se definirán los métodos y tipo de formatos que nos permitan obtener, con la mayor exactitud posible, los volúmenes del recurso que discurren por el cauce natural en un momento determinado.

Algunos lugares tienen establecida una red hidrométrica en todo el ámbito del sistema mayor, que está dividida en derivación, captación y almacenamiento, distribución, entrega y control del recurso hídrico, existiendo, para todos los casos, los formatos de los registros correspondientes, como son:

- Derivación: Túnel medido con correntómetro. Túnel medido con limnígrafo.
- Captación: Canal alimentador medido con limnígrafo. Compuerta de riego medida con tabla de descarga.
- Almacenamiento: Embalse medido con tablas de embalse. Canal de descarga medido con limnígrafo.
- Distribución: Canal medido con limnígrafo. Canal medido con aforo.
- Entrega y Control: Toma de cabecera en todas las comunidades de regantes, y caudales medidos con aforo y tabla de descarga.

5.2. EJECUCIÓN DE AFOROS Y MEDICIONES-OBSERVACIONES EN LA RED

Definida ya la localización de los puntos de control y el método de aforo a emplear, se procederá a la ejecución de las mediciones a través de los servicios correspondientes. Durante la aplicación de los métodos, se tomarán en cuenta los errores que ya han sido detectados anteriormente a fin de evitar la repetición de los mismos y, por ende, el rechazo de la información por su falta de consistencia o relevancia.

Las mediciones deberán registrarse inmediatamente después de efectuada la lectura correspondiente. Éstas deberán hacerse siguiendo un orden prefijado. Debe existir absoluta claridad sobre quién y cuándo registra, así como sobre quién y cuándo procesa.

En todos los casos se debe contar con los formatos correspondientes para su posterior ingreso en la base de datos, proceso, análisis y reportes en cuadros, tablas y gráficos.

5.3. PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los datos levantados por los técnicos de la Junta de Explotación en los diferentes puntos de control, utilizando los formatos de registro pertinentes, son entregados, según la frecuencia o periodicidad establecida, al personal responsable de hacer las operaciones aritméticas necesarias para el cálculo de los parámetros que nos permiten conocer cómo se comporta el cauce analizado. La

supervisión, verificación y aprobación de la información estará a cargo de la Gerencia Técnica de la Junta. En caso de que se cuente con un sistema automatizado de información hidrológica para el procesamiento de datos (SAIH), la digitalización de los registros a la base de datos estará a cargo del personal encargado del sistema de cómputo.

En muchas Juntas de Usuarios⁴, los datos que se toman en la estructura o estación, según sea la frecuencia, se envían en los formatos establecidos a la oficina de operaciones, pudiendo ser éstos: horarios, diarios, semanales, quincenales, mensuales y anuales. Con esta información, se mantiene actualizada la base de datos, permitiendo a la vez hacer el seguimiento o monitoreo de las ocurrencias del sistema mayor de riego, determinación de eficiencias, pérdidas en la red, estadística de la campaña agrícola y control de tarifas.

5.4. ENTREGA DE LA INFORMACIÓN PARA SER UTILIZADA EN LAS RUTINAS DE OPERACIÓN

La salida y distribución oportuna de la información procesada debe ser enviada a la unidad de operación de las Juntas de Usuarios y ser utilizadas como elementos de juicio para poder realizar los movimientos de las compuertas indispensables que nos aseguren una correcta operación. Depende del justo manejo de estos datos el que se pueda mantener un constante equilibrio y para que las diferentes partes de un sistema no se vean castigadas por excesos o deficiencia de agua y respondan a las necesidades preestablecidas de caudal ecológico.

5.5. DOCUMENTACIÓN Y ARCHIVO

Se necesita concentrar y conservar toda la información, tanto de la base de datos, como la procesada en cuadros, tablas, gráficos, y otros en archivos y sistemas de cómputo, en un lugar apropiado, porque ello resulta particularmente importante a fin de tomar las decisiones adecuadas para la operación del sistema.

6. APÉNDICE

6.1. AFORO DEL AGUA. INTRODUCCIÓN

6.1.1. Definición

“Aforar” el agua consiste en medir el caudal del agua. En vez de “caudal” también se puede emplear los términos “gasto”, “descarga” y a nivel de campo “riegos”.

⁴ En España algunas Juntas de Usuarios se constituyen jurídicamente como Sociedades Agrarias de Transformación (SAT) cuando su finalidad es la distribución del agua de riego.

6.1.2. Importancia

La medición o aforo de agua del río o de cualquier curso de agua es importante desde diferentes puntos de vista, como:

- Saber la disponibilidad de agua con que se cuenta.
- Distribuir el agua a los usuarios en la cantidad deseada.
- Saber el volumen de agua con que se riegan los cultivos.
- Poder determinar la eficiencia de uso y de manejo del agua de riego.

6.1.3. Métodos de aforo

Son varios los métodos que se pueden emplear para aforar el caudal del agua, estando la mayoría de ellos basados en la determinación del área de la sección mojada transversal y la velocidad media, para lo cual se utiliza la fórmula clásica:

$$Q = A \times v$$

donde:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = \text{caudal en m}^3/\text{s}. \\ A = \text{Área de la sección mojada transversal en m}^2. \\ v = \text{velocidad en m/s}. \end{array} \right.$$

Los métodos más utilizados, que explicaremos a continuación, son los siguientes:

- aforo con correntómetro.
- aforo con limnímetros y limnigrafos.
- aforo con flotadores.

6.2. AFORO DE UN RÍO CON CORRENTÓMETRO

6.2.1. La estación de aforo en un río

El aforo de un río también tiene lugar en una sección transversal del curso de agua, a la que llamaremos la “sección de control”.

El lugar donde siempre se va a aforar el agua, toma el nombre de “estación de aforos o foronómica”. A lo largo del presente libro nos hemos referido repetidamente a la EA 027 (“Río Ebro en Tortosa”).

El lugar que se escoja para establecer una estación de aforo debe reunir ciertos requisitos, algunos de los cuales ya fueron mencionados al tratar las condiciones de la sección de aforos. A saber:

1. El tramo del río que se escoja para medir el caudal del agua circulante debe ser aproximadamente recto, en una distancia de 150 a 200 metros, tanto aguas arriba como aguas abajo de la estación de aforo. En este tramo recto, no debe confluir ninguna otra corriente de agua, ni existir pérdidas o derivaciones del recurso.
2. La sección de control debe estar ubicada en un tramo en el cual el flujo sea calmado y, por lo tanto, libre de turbulencias, y donde la velocidad de la corriente esté ubicada dentro de un rango que pueda ser registrado por un correntómetro.
3. El cauce del tramo recto debe estar limpio de malezas o matorrales, de piedras grandes, bancos de arenas, etc., para evitar imprecisiones en las mediciones de agua. Estos obstáculos hacen más imprecisas las mediciones en épocas de estiaje.
4. Tanto agua abajo como aguas arriba, la estación de aforo debe estar libre de la influencia de puentes, presas o cualquier otra construcción que pueda afectar las mediciones.
5. El sitio debe ser de fácil acceso para realizar las mediciones.

6.2.2. Aforo por el método del correntómetro

En un río cualquiera, para determinar el caudal que pasa por una sección transversal, se requiere, a su vez, saber el caudal que pasa por cada una de la subsecciones en que se divide la sección transversal. Para eso, se realiza el siguiente procedimiento para registrar las observaciones y calcular las velocidades y caudales. A saber:

1. La sección transversal del río donde se va a realizar el aforo se divide en varias subsecciones. El número de subsecciones depende del caudal estimado que podría pasar por la sección: en cada subsección, no debería pasar más del 10% del caudal estimado que pasaría por la sección. Otro criterio es que, en cauces grandes, el número de subsecciones no debe ser menor de 20.
2. El ancho superior de la sección transversal (superficie libre del agua) se divide en tramos iguales, cuya longitud es igual al ancho superior de la sección transversal dividido por el número de subsecciones calculadas
3. En los límites de cada tramo del ancho superior del cauce, se trazan verticales, hasta alcanzar el lecho o fondo. La profundidad de cada vertical se puede medir con la misma varilla del correntómetro que está graduada. Las verticales se trazan en el mismo momento en que se van a medir las velocidades.
4. Con el correntómetro se mide la velocidad a dos profundidades en la misma vertical a 0.2 y a 0.8 de la profundidad de la vertical, para lo cual se toma el tiempo que demora el correntómetro en dar 100 revoluciones y se calcula el número de revoluciones por segundo; con este dato, se

calcula la velocidad del agua en cada una de las profundidades utilizando la fórmula correspondiente, según el número de revoluciones por segundo (n). En el caso de la medición de la velocidad en una parte del tramo final estudiado del río Ebro (Tortosa-Amposta), se emplean las siguientes fórmulas:

$$\begin{cases} v = 0,2590 \cdot n + 0,005 & \text{cuando } n \text{ es } > 1,51 \\ v = 0,2517 \cdot n + 0,016 & \text{cuando } n \text{ es } < 1,51 \end{cases}$$

5. Se obtiene la velocidad promedio del agua en cada vertical. La velocidad promedio del agua en cada subsección es el promedio de las velocidades promedio de las verticales, que encierran la subsección. En nuestro caso, ver anexo 2.3.
6. El área de cada subsección se calculará fácilmente considerándola como un paralelogramo cuya base (ancho del tramo) se multiplica por el promedio de las profundidades que delimitan dicha subsección.
7. El caudal de agua que pasa por una subsección se obtiene multiplicando su área por el promedio de las velocidades medias registradas, en cada extremo de dicha subsección.
8. El caudal de agua que pasa por el río es la suma de los caudales que pasan por todas las subsecciones. Ver, al respecto, el capítulo 9.

6.3. AFORO CON LIMNÍMETROS Y LIMNÍGRAFOS

6.3.1. Sistemas convencionales

El método que se usa corrientemente para aforar un río es mediante el empleo del limnómetro o limnígrafo, puesto que usar frecuentemente el correntómetro resulta impracticable por lo difícil y tedioso de realizar las mediciones con este instrumento.

Un limnómetro es, simplemente, una escala tal como una mira de topógrafo, graduada en centímetros. Se puede utilizar para este fin la mira clásica del topógrafo, pero, por lo general, se pinta o se inserta una escala en una de las paredes del río. Éste es el caso de la mayoría de las estaciones de aforo o foronómicas de la cuenca del Ebro y, muy concretamente, la que es objeto de nuestro estudio (EA-27, “Ebro en Tortosa”). Entonces, basta con leer, en la escala o mira, el nivel que alcanza el agua para saber el caudal de agua que pasa en este momento por la conducción libre, pero previamente se tiene que calibrar la escala o mira reseñada.

La calibración consiste en aforar el río varias veces durante el año, en épocas de estiaje y épocas de avenidas, por el método de correntómetro y anotar cuidadosamente la altura que alcanzó el agua, medida con el limnómetro.

Se deben realizar varios aforos con correntómetro para cada determinada altura del agua. Con los datos de altura del agua (h) y del caudal (q) correspondiente obtenido, se construye la llamada “curva de calibración” en un eje de coordenadas cartesianas rectangulares.

El limnómetro siempre debe colocarse en el mismo sitio cada vez que se hacen las lecturas y su extremidad inferior siempre debe estar sumergida en el agua. Los limnómetros pueden ser de metal o de madera. Una escala graduada pintada en una pared de mortero de cemento, al costado de unas de las riberas del río, también puede servir perfectamente a los efectos de limnómetro.

Por lo general, los aforos de agua deben hacerse tres veces en el día, a las 6 a.m., 12 (mediodía) y 6 p.m. para obtener el caudal medio diario.

Una mejor manera de aforar el agua es empleando un aparato llamado “limnógrafo”, el cual tiene la ventaja de poder medir o registrar los niveles de agua en forma continua en un papel especialmente diseñado, que gira alrededor de un tambor movido por un mecanismo eléctrico o de relojería.

Los limnógrafos están protegidos dentro de una caseta de obra de fábrica. Vienen acompañados de las instrucciones precisas para su operación y cuidado, así como de un sistema de transmisión de datos *on line* por teleproceso.

6.3.2. El limnómetro electrónico

a) Descripción

Sabiendo de las necesidades de modernización de las redes hidrométricas y de ampliación de su cobertura, y con el fin de contribuir en algún grado en tales procesos, últimamente se viene desarrollando un dispositivo electrónico de medición de niveles de flujo en ríos, que permitirá el registro y procesamiento de datos para suplir y ampliar, de una manera competitiva, las funciones de los actuales equipos de registro conocidos como “limnógrafos”.

El dispositivo en cuestión tiene la capacidad de comunicarse con un PC portátil con el que se programan las frecuencias de la toma de lecturas y se recoge la información almacenada, la cual puede procesarse de inmediato y enviarse vía internet a las oficinas centrales.

b) Objetivos

Consisten fundamentalmente en contar con tecnología propia para satisfacer estas necesidades de medición, pues ello se traduce en menores costos de adquisición y de soporte técnico debido al dominio que se alcanza sobre ella; de ahí que este desarrollo constituya una alternativa a la tecnología comercial de punta disponible actualmente en el mercado especializado.

c) Resultados

Respecto al funcionamiento del limnómetro electrónico, veamos que tiene la capacidad de seguir el espejo del agua y registrar sus variaciones en base a la información digital de un sensor; algunos equipos comerciales con funciones similares utilizan encoders ópticos conectados al eje de la polea de los sistemas de flotadores tradicionales. Los beneficios potenciales más visibles de este desarrollo tecnológico estriban en la obtención oportuna y confiable de información hidrométrica a menores costos operativos, debido al suministro y soporte técnico propios.

6.4. AFORO CON FLOTADORES

6.4.1. Metodología

Como ya hemos expresado, este método de aforo con flotadores se utiliza generalmente cuando no se dispone de un molinete o correntómetro, o cuando se producen excesivas velocidades en el cauce, con los consiguientes peligros para las personas operadoras y para los equipos. La metodología consiste en:

- Seleccionar un tramo recto del cauce entre 15 y 20 metros de longitud.
- Determinar el ancho del cauce y las profundidades de éste en tres partes diferentes de la sección mojada transversal.
- Calcular el área de la sección transversal. Para ello se emplea la expresión:

$$A = B \times H,$$

donde :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{a, b, c} \text{ son las profundidades del cauce.} \\ \mathbf{B} = \text{ancho del cauce.} \\ \mathbf{A} = \text{área buscada.} \\ \mathbf{H} = \text{altura promedio de } (a + b + c)/3. \end{array} \right.$$

6.4.2. Cálculo de la velocidad

Para medir la velocidad en cauces naturales pequeños, se escoge un tramo recto del curso de agua y de alrededor de 5 a 10 m; se deja caer el flotador al inicio del tramo que está debidamente señalado y situado en el centro del curso del agua en lo posible y se toma el tiempo inicial t_1 ; luego se toma el tiempo final t_2 , cuando el flotador alcanza el extremo final del tramo que también se halla debidamente marcado; y sabiendo la distancia recorrida y el tiempo que el flotador demora en alcanzar el extremo final del tramo, se calcula la velocidad del curso de agua según la siguiente fórmula:

$$v = (L/T) \cdot k \text{ (velocidad), siendo:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L = \text{Longitud del tramo (aproximadamente 10 m.).} \\ T = \text{Tiempo de recorrido del flotador entre dos puntos del tramo } L \\ \text{(segundos)} = t_2 - t_1. \\ k = \text{relación existente entre la velocidad media de la sección y la} \\ \text{superficial, para este tipo de cauces.} \end{array} \right.$$

6.4.3. Cálculo del caudal

De la misma manera, se lleva a cabo la determinación del gasto hidráulico mediante la expresión clásica:

$$Q = A \times v ,$$

cuyos parámetros resultan bien conocidos.

6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN HIDROMETRÍA

Consiste en estudiar los siguientes temas:

- *Diseño de redes y observaciones hidrológicas*: una breve introducción a los aspectos esenciales del diseño de redes y la administración de la información hidrológica básica.
- *Verosimilitud de la información hidrológica*: todas las medidas hidrológicas o los valores derivados de ellas contienen errores. Se recomienda efectuar pruebas de control de calidad para el examen de posibles errores en la información hidrológica.
- *Distribuciones teóricas de probabilidades*: este capítulo cubre el concepto de funciones de distribución, momentos factoriales y cuantiles, distribuciones empíricas, posiciones de ploteo, series parciales y funciones de distribución, incluyendo la distribución de Gauss o normal, log-normal, Pearson tipo III, log-Pearson III y Gumbel (empleada en el presente libro).

- *Análisis de correlación y regresión mínimo-cuadrática*: las consideraciones teóricas son útiles para indicar la existencia de correlación entre las variables hidrológicas en estudio. El problema estriba entonces en determinar el tipo y grado de correlación existente entre ellas.

- *Eventos de crecida y estiaje*: se definen las características de las crecidas y estiajes y se indican los requisitos y procedimientos a seguir para su correcta evaluación.

- *Análisis de las series de tiempo*: el objetivo principal del análisis de series de tiempo en hidrología es el de separar la tendencia y los elementos periódicos y estocásticos del hidrograma medido. Los métodos de series de tiempo o cronológicas también se utilizan para evaluar la precisión de las estimaciones de los parámetros estadísticos y determinar si una serie de tiempo es suficientemente larga o representativa.

- *Análisis diversos*: los capítulos siguientes podrían tratar del estudio de las autocorrelaciones y correlaciones cruzadas, análisis espectral, espectro cruzado y coherencia. El análisis de correlación cruzada lineal ofrece información valiosa acerca del grado de relación lineal y del tipo de concordancia o discordancia de las variaciones en dos series temporales.

(*) **Viene del epígrafe 3.1.1.3.** Con frecuencia, puede suceder que el reticulado paralelo a los ejes coordenados cartesianos rectangulares y las fórmulas de integración a que nos han dado lugar no proporcionan precisamente el camino más cómodo para calcular una integral múltiple (doble). En tal caso, la integral múltiple en cuestión puede resolverse también por cambio de variable, haciendo la transformación biyectiva o biunívoca:

$$\begin{cases} h = h_1(u, v) \\ V = h_2(u, v) \end{cases}, \text{ con lo que se tiene que:}$$

$$\iint_A dh \cdot dV = \iint_A |J| \cdot du \cdot dv = J(u, v) \Delta u \cdot \Delta v,$$

siendo $|J|$ el determinante funcional “jacobiano” con $\begin{cases} \mathbf{n}: \text{variables independientes} \\ \mathbf{n}: \text{variables funcionales} \end{cases}$

que es continuo, tal que:

$$|J| = \begin{vmatrix} \frac{\partial h}{\partial u} & \frac{\partial h}{\partial v} \\ \frac{\partial V}{\partial u} & \frac{\partial V}{\partial v} \end{vmatrix} = \frac{\partial(h, V)}{\partial(u, v)} \neq 0 ; \text{ en efecto, los diferenciales totales son, operando en}$$

dos pasos sucesivos:

$$\begin{cases} dh = \frac{\partial h}{\partial u} du + \frac{\partial h}{\partial v} dv = 0 \text{ (suponiendo } h = \text{cte.)} \\ dV = \frac{\partial V}{\partial u} du + \frac{\partial V}{\partial v} dv \end{cases}$$

de donde eliminando **du** entre las dos ecuaciones anteriores, se obtiene:

$$dV = -\frac{\partial V}{\partial u} \times \frac{\frac{\partial h}{\partial v}}{\frac{\partial h}{\partial u}} \cdot dv + \frac{\partial V}{\partial v} \cdot dv = \frac{1}{\frac{\partial h}{\partial u}} \overbrace{\left(\frac{\partial h}{\partial u} \times \frac{\partial V}{\partial v} - \frac{\partial h}{\partial v} \times \frac{\partial V}{\partial u} \right)}^{|J|} \cdot dv ,$$

expresión en la que se supone: $\frac{\partial h}{\partial u} \neq 0$ y continua; se tendrá (suponiendo $v = \text{cte.} \Rightarrow dv = 0$):

$$dh \cdot dV = \left(\frac{\partial h}{\partial u} \cdot du \right) \times \left(\frac{1}{\frac{\partial h}{\partial u}} \cdot |J| \cdot dv \right) = |J| \cdot du \cdot dv , \text{ c.s.q.d.}$$

NOTA: El valor del determinante funcional jacobiano $|J|$ se tomará siempre en valor absoluto. Por último, el recinto o dominio de integración experimentará el cambio:

$$A \xrightarrow{\text{transf.}} A'$$

$$\begin{cases} A: \text{ determinado por un contorno } C, \text{ de ecuación: } g(h,V) = 0, \text{ en el plano } hV. \\ A': \text{ determinado por un contorno } C', \text{ de ecuación: } g[h(u,v), V(u,v)] = 0, \text{ en el plano cartesiano } uv. \end{cases}$$

En el caso discreto, $J(\mathbf{u},\mathbf{v})$ significa el valor del determinante funcional jacobiano de la transformación en un cierto punto (\mathbf{u},\mathbf{v}) del rectángulo de lados: $\Delta u \Delta v$. A este mismo resultado puede llegarse transformando la integral doble, que ofrece el área buscada, en integral curvilínea y, después de transformada ésta, expresándola nuevamente como integral doble mediante la fórmula de Riemann⁵.

* * * * *

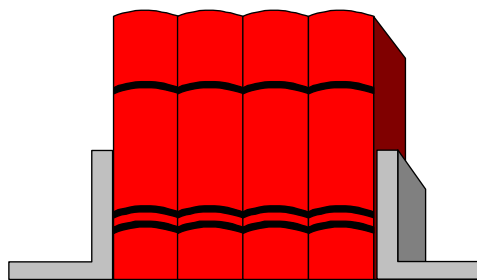
⁵ Las ideas de Riemann (1826-1866) concernientes a la geometría del espacio tuvieron profundos efectos en el desarrollo de la teoría física moderna. Los escritos de Riemann de 1854 llegaron a ser un clásico en las matemáticas y estos resultados fueron incorporados dentro de la teoría de la relatividad y gravitación de Einstein. Influyó notablemente en el desarrollo de la teoría física moderna y proveía los conceptos y métodos usados después en la Teoría de la Relatividad. Era un original pensador y un anfitrión de numerosos métodos, teoremas y conceptos que llevan su nombre.

ABREVIATURAS Y SIGLAS

%	Porcentaje (tanto por cien)
‰	Tanto por mil
...	Puntos suspensivos (etcétera)
€	Euros
AA.VV.	Autores varios
APU	Anchura ponderada útil
art.	Artículo
BMWP'	<i>Biological Monitoring Working Party</i>
BOE	Boletín Oficial del Estado
°C	Grados centígrados
C _{ap}	Coefficiente de apertura
Cap.	Capítulo
CAT	Consorcio de Aguas de Tarragona
CC.AA.	Comunidades Autónomas
CEDEX	Centro de Experimentación de Obras Públicas
C.G.S.	Cegesimal (sistema de unidades)
C.H.E.	Confederación Hidrográfica del Ebro
cm.	Centímetros
COAS	Control Oficial de Abastecimientos
COCA	Control de Calidad General de las Aguas
Coef.	Coefficiente
Corr.	Corrección
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
c.s.q.d.	Como se quería demostrar
C.V.	Coefficiente de Variación de Pearson
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
Det.	Determinación
Dif.	Diferencia
D.M.	Desviación media
DMA	Directiva Marco del Agua
D.P.T.O.P.	<i>Departament de Política Territorial i Obres Públiques</i>
Dr.	Doctor
ed.	Editorial
EE.UU.	Estados Unidos de América del Norte
eq.	Equivalentes
et al.	<i>Et altri</i>
etc.	Etcétera
F.	Fórmula
FEDER	Fondo Europeo de Desarrollo Regional

g.	Gramos
GIS = SIG	Sistema de Información Geográfica
g.l.	Grados de libertad
ha.	Hectárea
hm.	Hectómetro
ICA	Red Integrada de Calidad de las Aguas
ICG	Índice de Calidad General
IFIM	<i>Instream Flow Incremental Methodology</i>
Km. = km.	Kilómetros
l.	Litros
LA	Ley de Aguas
LPHN-	Ley del Plan Hidrológico Nacional-año
LPS	Litros por segundo
m.	Metros
mgrs.	Miligramos
MICE	Método Incremental de los Caudales Ecológicos
m.l.	Mililitros
mm.	Milímetros
Mo	Moda
MOPTMA	Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente
nº	Número
NGRPG	<i>Northern Great Resource Plains Program</i>
OMC	Organización Mundial del Comercio
p. = pág.	Página
PAC	Política Agrícola Comunitaria
PEIN	<i>Plà d'Espais d'Interès Natural</i>
PHC	Plan Hidrológico de Cuenca
PHN	Plan Hidrológico Nacional
pp. = págs.	Páginas
p.p.m.	Partes por millón (mgrs./litro)
Prof.	Profesor
PVC	Cloruro de Polivinilo (<i>Poli Vinil Clorure</i>)
RAPAPH	Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica
RD	Real Decreto
RDPH	Reglamento del Dominio Público Hidráulico
Ref.	Referencia
ROEA	Red Oficial de Estaciones de Aforo
RVA	<i>Range of Variability Approach</i>
SAIH	Sistema Automático de Información Hidrológica
SCAF	Comité Permanente de Administración y Finanzas
sec.	<i>Second</i>
SEIH	Sistema Estadístico de Información Hidrométrica
seg.	Segundos
ss.	Siguientes

T., Tm.	Toneladas métricas
Tc	Tiempo de concentración de la cuenca
UE	Unión Europea
USA	<i>United States of America</i>
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (<i>United States Department of Agriculture</i>)
v.gr.	<i>Verbi gratia</i>
ZEPA	Zona Especial de Protección para las Aves



- BIBLIOGRAFÍA Y FONDOS DOCUMENTALES -

- (*) Bibliografía local.
 (**) Bibliografía general.
 (***) Bibliografía recomendada.

- 1) ALCAIDE, A. *Estadística Económica*. Ed. SAETA. Madrid, 1973. (**)
- 2) ARROJO, P. *El Plan Hidrológico Nacional, a debate*. Ed.: Bakeaz. Bilbao, 2001. (**)
- 3) AA. VV. *Hütte. Manual del Ingeniero*. Ed.: Gustavo Gili. Barcelona, 1938. (***)
- 4) AA. VV. *Ingeniería Hidráulica (Aplicada a los sistemas de distribución de agua) Volumen II*. Ed.: Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 1996. (***)
- 5) AA. VV. *Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua*. Ed.: Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2002. (***)
- 6) AA. VV. *Determinación de los perfiles de velocidades del Bajo Ebro entre Tortosa y Amposta*. Ed.: Universidad Politécnica de Catalunya. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Hidráulica. Barcelona, mayo de 1985. (*)
- 7) AA. VV. *Informe Berkeley (Un estudio técnico del Plan Hidrológico Nacional español)*. Fundación de la Universidad Politécnica de Cartagena. Enero de 2003. (***)
- 8) AYALA-CARCEDO, F.J. e IGLESIAS, A. *Impactos del posible cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España Peninsular*. *El Campo de las Ciencias y las Artes* 137:201-222. 2000. (***)
- 9) BASMANN, R. L. "A Note on the Finite Sample Frequency Functions of Generalized Classical Linear Estimators in Two Leading Over-identified Cases", en *Journal of the American Statistical Association*, 56. 1961. (**)
- 10) BORNEMANN, K. R. *Zivilingenieur* (2) 15 (1869). (***)

- 11)BOVEE, K.D. *A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. Instream Flow Information Paper nº12. Instream Flow & Aquatic System Group. Fort Collins. 248 pg. 1982. (***)
- 12)BRABBÉE, K. *Beihefte zum Gesundheitsingenieur*, tomo I, nº. 1. 1913. (***)
- 13)BRAHMS, A. *Anfangsgründe der Deich- u. Wasserbaukunst*, 2 partes, Aurich, 1754 y 1757, 1ª parte. (***)
- 14)BROTONS, P.A. *Condicionamientos hidráulicos sobre la microdistribución en densidad de las poblaciones de macroinvertebrados bentónicos*. Trabajo Fin de carrera. E.T.S.I. Montes. UPM. Madrid, 1988. (***)
- 15)CABRERA, E., ESPERT, V., GARCÍA-SERRA, J. y MARTÍNEZ, F. *Ingeniería Hidráulica (Aplicada a los Sistemas de Distribución de Agua). Volumen I*. Ed.: Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 1996. (***)
- 16)CASADO, C. *et alt. Valoración ecológica de la red fluvial de la Comunidad de Madrid*. D. Gral. Recursos Hidráulicos. 2 tomos. Madrid, 1988. (*)
- 17)CHOW, V.T. *Hidráulica de los canales abiertos*. Ed.: Diana. 633 pág. México, 1985. (**)
- 18)CHOW, V.T. y MAIDMENT, D. *Hidrología aplicada*. Ed.: McGraw Hill. 1994. (**)
- 19)COPELAND, R. D. y YITAYEW, C. M. *Evaluation of a subsurface trickle irrigation system. Presented at the international winter meeting of the American Society of Agricultural Engineers. ASAE paper, 902.531*. Chicago, 1990. (***)
- 20)CUBILLO, F. *et alt. Caudales ecológicos*. Ed.: Agencia del Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid. Madrid, 1990. (***)
- 21)CUBILLO, F. *Estimación de caudales ecológicos en los ríos de la Comunidad de Madrid*. Canal de Isabel II, Comunidad de Madrid. Madrid, 1991. (*)
- 22)CUNNINGHAM, A. *Hydraulic Experiments at Roorkee*. 1874/75. (***)
- 23)DUBUAT, L. G. *Principes d'hydraulique*, 1, n. éd. París, 1816. (***)
- 24)EMBED IRUJO, A. *La calidad de las aguas*. Ed.: Civitas, S.A. Madrid, 1994. (**)
- 25)EYTELWEIN, J. A. *Handbuch der Mechanik fester Körper*. Berlín, 1801. (***)
- 26)FRANQUET BERNIS, J. M. *Teoría, diseño y construcción de terrazas-voladizo*. Ed.: Asociación de Ingenieros Agrónomos de Cataluña. Tortosa, 1995. (**)
- 27)FRANQUET BERNIS, J. M. *Con el agua al cuello (55 respuestas al Plan Hidrológico Nacional)*. Ed.: Littera Books, S.L. Barcelona, 2001. (**)
- 28)FRANQUET BERNIS, J. M. *Les limitacions dels conreus per les temperatures extremes. Aplicació a les comarques meridionals de l'Ebre*.

- Ed. : Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Tortosa, 2002. (**)
- 29)FRANQUET BERNIS, J.M. *Cinco temas de hidrología e hidráulica*. Ed.: Bibliográfica Internacional, S.L. – Universitat Internacional de Catalunya. Tortosa, 2003. (**)
 - 30)FRANQUET BERNIS, J. M. *Cálculo hidráulico de las conducciones libres y forzadas. Una aproximación de los métodos estadísticos*. Universitat Internacional de Catalunya. Tortosa, 2005. (**)
 - 31)GARCÍA DE JALÓN, A. *Técnicas Hidrobiológicas para la estimación de caudales ecológicos mínimos*. Sesión de Homenaje al profesor García de Viedma. E.T.S.I. de Montes. Madrid, 1990. (**)
 - 32)GARCÍA DE JALÓN, D. TOLOSANA, E. y ALCALDE, F.R. *Estimación de algunos parámetros poblacionales de la trucha común (Salmo trutta fario) en los ríos pirenaicos*. Bol. Est. Centr. Ecol. 29, 51-58. 1986. (***)
 - 33)GARCÍA DE JALÓN, D. River Regulation in Spain. Reg. Riv.: *Res. & Mngt.* 1, 343-348. 1987. (**)
 - 34)GORE J.A. y NESTLER, J.M. Instream Flows in Perspective. Reg. Riv.: *Res. & Mngt.* 2, 93-102. 1988. (**)
 - 35)IBÁÑEZ, C. PRAT, N. CANICIO, A. y CURCÓ, A. *El Delta del Ebro, un sistema amenazado*. Colección El Agua a Debate, Ed: Bakeaz. Bilbao, 1999. (*)
 - 36)IBÁÑEZ, C. *Dinàmica hidrològica i funcionament ecològic del tram estuari del riu Ebre*. Tesis Doctoral, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona. 1993. (*)
 - 37)MANTEIGA LÓPEZ, M.D. y OLMEDA LATORRE, C. *El caudal ecológico. Un consenso entre explotación y conservación de los cursos de agua*. Segundo Congreso Internacional de Ordenación del Territorio. Valencia, 1991. (**)
 - 38)MARTÍNEZ-GIL, J. *La Nueva Cultura del Agua en España*. Ed.: Bakeaz. Bilbao, 1997. (**)
 - 39)PALAU IBARS, A. “Los mal llamados caudales ecológicos. Bases para una propuesta de cálculo”. *OP. Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 28. Año 1994. (**)
 - 40)PRAT, N. “Ecologia i gestió de l’aigua a Catalunya. Aigua: gestionar l’escassetat”. *Medi Ambient, Tecnologia i Cultura*, 25: 5-15. (**)
 - 41)PRAT, N. Afecciones al Bajo Ebro derivadas del PHN, alternativas y necesidad de un nuevo modelo de gestión del agua, en Arrojo, P. (ed.): *El Plan Hidrológico Nacional a debate*, Bilbao, Bakeaz: 413-426. 2001. (*)
 - 42)PRAT, N. MUNNÉ, A. RIERADEVALL, M. y BONADA, N. La determinación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos en España. La aplicación de la directiva marco del agua en España. Ed.: Fabra Barreira. *Instituto internacional de derecho y medio ambiente*. 47-81. Madrid-Barcelona, 2000. (**)

- 43) PRAT, N. e IBÁÑEZ, C. Effects of water transfers projected in the Spanish National Hydrological Plan on the ecology of the lower River Ebro and its Delta. *Water Science and Technology* 31(8): 79-86. 1995. (*)
- 44) SOUCHON, F.Y. *Approche Methodologique de la Détermination des Débits Réservés*. CEMAGREF. Serv. Pêche et Hydrobiologie. Lyon, 1983. (**)
- 45) STALNAKER, C.B. The use of habitat structure referenda for establishing flow regimens necessary for maintenance of fish habitat. *The Ecology of Regulated Rivers*. Ward & Stanford, eds. 326-337. 1979. (**)
- 46) TENNANT, D.L. Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and related Environmental Resources. *Procs. on Instream flow needs Symp.* Orsborn & Allman, eds. 326-337. 1976. (***)
- 47) TORRES SOTELO, J.E. *Apuntes de Hidráulica general y agrícola*. Primera y segunda parte. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Valencia, 1970. (***)
- 48) WHITE, R.G. A methodology for recommending stream resource maintenance flows for large rivers. *Procs. on Instream Flow Needs Sympos.* Orsborn & Allman, eds. 376-386. 1976. (***)

* * * * *

ÍNDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
PRÓLOGO	7
Resumen	19
Resum	20
Abstract/Summary	21
Résumé	22
Capítulo 1. Definiciones y conceptos previos	23
1. La conservación ecológica de los ríos	23
2. La vida piscícola y el equilibrio ecológico	25
3. La contaminación de las aguas	26
4. La calidad de las aguas y la ordenación de vertidos	28
4.1. Introducción	28
4.2. Los diferentes índices de calidad biológicos	29
4.3. Otros índices de calidad del agua	30
4.4. Redes de vigilancia de calidad de las aguas superficiales	31
4.5. Parámetros que se estudian en una red típica	32
4.6. Toma de muestras en el río	34
4.7. Clasificación de la calidad de las aguas	34
4.8. Características de calidad por tramos	36
Capítulo 2. El concepto de “caudal ecológico” y “caudal medioambiental”	41
1. Introducción	41
2. Aspecto hidrológico	42
3. Aspecto sanitario	43
4. Aspecto ecológico	44
5. Otros aspectos y caudal total a considerar	45
Capítulo 3. Legislaciones sobre caudales ecológicos	53
1. El caudal ecológico y la legislación internacional	53
2. El caudal ecológico en España	54
3. Conclusiones	56
Capítulo 4. Las previsiones del Plan Hidrológico Nacional	57
1. Las demandas de carácter ambiental	57
2. Los caudales ambientales	58
3. Programa de acción	60
4. El caudal para mínimos medioambientales	61

	<u>Pág.</u>
5. Los usos del agua y los recursos	66
6. Las dotaciones de agua para el delta del Ebro	67
6.1. Características generales: situación, superficie y climatología.....	67
6.2. Los caudales para riego	70
6.3. El abastecimiento del parque natural	73
6.4. El mantenimiento del bosque de ribera (<i>Populeta albae</i>).....	74
7. La evaluación ambiental de las grandes infraestructuras básicas previstas.....	75
8. Los restantes problemas medioambientales del tramo inferior del Ebro	76
8.1. La regresión geomorfológica del delta del Ebro	76
8.2. El aumento de la salinidad en el tramo inferior del Ebro.....	78
8.2.1. Como consecuencia de la disminución de caudal	78
8.2.2. Como consecuencia del menor grado de dilución	81
8.3. La alteración del equilibrio ecológico.....	82
 Capítulo 5. Metodología para la estimación de los caudales ecológicos mínimos	87
1. Introducción	87
2. Técnicas hidrobiológicas.....	92
2.1. Conceptualización	92
2.2. Modelo hidráulico	93
2.3. Determinación de la anchura ponderada útil.....	97
3. Caudales ecológicos mínimos absolutos.....	98
4. Caudales ecológicos aconsejables.....	99
 Capítulo 6. Caudales mínimos medioambientales. Periodos de retorno	103
1. Introducción	103
2. Cálculo de los periodos de retorno.....	103
2.1. Metodología	103
2.2. Cálculo de los períodos de retorno para los caudales mínimos anuales.....	105
2.2.1. Caudales mínimos absolutos anuales (N = 62 años).....	105
2.2.2. Periodo de retorno de 3 años.....	106
2.2.3. Periodo de retorno de 4 años.....	106
2.2.4. Periodo de retorno de 5 años.....	107
2.2.5. Periodo de retorno de 10 años.....	108
2.2.6. Periodo de retorno de 15 años.....	108
2.2.7. Caudales según periodos de recurrencia	109
2.3. Cálculo de los periodos de retorno para los caudales de la estación seca.....	112
2.3.1. Caudales en el periodo estival.....	112
2.3.2. Periodo de retorno de 3 años.....	113

	<u>Pág.</u>
2.3.3.Periodo de retorno de 4 años	113
2.3.4.Periodo de retorno de 5 años	113
2.3.5.Periodo de retorno de 10 años	113
2.3.6.Periodo de retorno de 15 años	113
2.3.7.Caudales según periodos de recurrencia	114
2.4. Cálculo de los periodos de retorno para diversos caudales de referencia	116
 Capítulo 7. Determinación del caudal mínimo medioambiental medio anual.....	 121
1. Determinaciones de otros autores	121
2. Nuestras propuestas.....	126
3. Intervalos de admisibilidad de los caudales mínimos medioambientales	134
4. Determinación de la aportación media en régimen natural.....	136
 Capítulo 8. Gestión de caudales (visualización)	 139
 Capítulo 9. Determinación de velocidades y caudales medioambientales en diferentes secciones	 155
1. Introducción	155
2. Sección completa.....	159
3. Sección correspondiente al caudal mínimo medioambiental	160
 Capítulo 10. Normativa del Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro	 163
 Capítulo 11. Resumen y conclusiones finales.....	 167
 ANEXO 1: TABLAS Y GRÁFICOS	 175
1. Escala nueva (limnómetro de la E.A. nº: 27, Tortosa)	176
1.1. Diferentes regresiones mínimo-cuadráticas.....	176
1.2. Estimación curvilínea seleccionada	177
2. Escala antigua (limnómetro de la E.A. nº: 27, Tortosa).....	178
2.1. Diferentes regresiones mínimo-cuadráticas.....	178
2.2. Estimación curvilínea seleccionada	179
3. Tablas de caudales por meses (12)	180
4. Gráficos de caudales por meses (12).....	192
5. Tablas de caudales mensuales en Tortosa. Años hidráulicos 1913-14 a 1988-89.....	200
6. Tablas de caudales mensuales en Tortosa corregida con el índice de estacionalidad. Años hidráulicos 1913-14 a 1988-89	202
7. Gráficos correspondientes a las tablas anteriores.....	204

	<u>Pág.</u>
8. Tablas de caudales diarios y nivel de la lámina de agua en Tortosa. Años hidráulicos 1988-89 a 1994-95	208
9. Curvas limnimétricas de caudales en Tortosa (EA-027)	215
10. Caudales medios mensuales y anuales en Tortosa. Periodo del 1912-13 al 2003-04	220
 ANEXO 2: PERFILES TRANSVERSALES DEL RÍO EBRO EN EL TRAMO TORTOSA-AMPOSTA.....	223
1. Perfiles transversales del río Ebro en el tramo Tortosa – Amposta (plantas)	224
2. Perfiles transversales del río Ebro en el tramo Tortosa – Amposta (secciones)	233
3. Velocidades del agua en cada perfil	243
 ANEXO 3: PROPUESTA DE GESTIÓN DE CAUDALES EN EL TRAMO INFERIOR DEL RÍO EBRO.....	247
1. Función del caudal medio.....	248
2. Función del caudal mínimo	252
3. Función del caudal máximo	256
4. Estudio estadístico de la distribución de los caudales en el periodo 1966-85	260
4.1. Tablas auxiliares de cálculo	260
4.2. Otras medidas de valor central.....	265
4.3. Medidas de dispersión o concentración.....	268
4.4. Otras características de la distribución de frecuencias	269
 ANEXO 4: RESTANTES ESPECIFICACIONES METODOLÓGICAS. 273	273
I. DISTRIBUCIÓN TEÓRICA Y MÉTODO DE GUMBEL	274
1. Distribución de valores extremos.....	274
1.1. Método de Gumbel	274
1.1.1. Conceptos previos.....	274
1.1.2. Ajuste por mínimos cuadrados ordinarios	275
1.2. Ajuste por la probabilidad máxima (Fisher)	276
2. Consideraciones sobre el uso del método de Gumbel al estudio de las precipitaciones máximas	281
3. Fórmulas de altura-duración-frecuencia	282
4. Generalidades sobre la distribución de probabilidad de Gumbel	283
II. NUEVAS FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS	285
1. Fórmulas de velocidad y caudal (Franquet)	285
2. Expresión multivariante (Franquet).....	286
 ANEXO 5: CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS.....	289
1. Definiciones y conceptos previos	290

	<u>Pág.</u>
2. Conceptos básicos para un protocolo de establecimiento de caudales mínimos medioambientales	295
ANEXO 6: CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE HIDROMETRÍA	299
1. Introducción	300
1.1. Generalidades	300
1.2. Concepto y definiciones	300
2. Importancia	302
3. Medición del caudal del agua	302
3.1. Métodos de medición	302
3.1.1. Velocidad y sección mojada	303
3.1.1.1. Método del correntómetro o molinete	304
3.1.1.2. Método del flotador	305
3.1.1.3. Distribución de velocidades en la sección transversal	307
3.1.2. Estructuras hidrométricas	311
3.1.3. Método volumétrico	312
3.1.4. Método químico	313
3.1.5. Calibración de compuertas	313
3.2. Sección de medición	313
3.3. Calibración de la sección	314
3.4. Registros de medición	314
4. La red hidrométrica	314
4.1. Definición	314
4.2. Análisis de la existencia y pertinencia de la red hidrométrica	315
4.3. Verificación del estado de funcionamiento de la red hidrométrica y calibración de las estructuras de medición	315
5. Sistema Estadístico de Información Hidrométrica (SEIH)	315
5.1. Establecimiento de métodos y formatos de registro	315
5.2. Ejecución de aforos y mediciones-observaciones en la red	316
5.3. Procesamiento e interpretación de la información	316
5.4. Entrega de la información para ser utilizada en las rutinas de operación	317
5.5. Documentación y archivo	317
6. Apéndice	317
6.1. Aforo del agua. Introducción	317
6.1.1. Definición	317
6.1.2. Importancia	318
6.1.3. Métodos de aforo	318
6.2. Aforo de un río con correntómetro	318
6.2.1. La estación de aforo en un río	318
6.2.2. Aforo por el método del correntómetro	319
6.3. Aforo con limnímetros y limnógrafos	320
6.3.1. Sistemas convencionales	320
6.3.2. El limnómetro electrónico	321
6.4. Aforo con flotadores	322

	<u>Pág.</u>
6.4.1. Metodología	322
6.4.2. Cálculo de la velocidad	323
6.4.3. Cálculo del caudal	323
6.5. Análisis estadístico en hidrometría	323
ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	327
BIBLIOGRAFÍA Y FONDOS DOCUMENTALES.....	331
INDICE GENERAL	335
INDICE DE FIGURAS.....	341
INDICE DE TABLAS	342



ÍNDICE DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Fig. 1. Tramo inferior del río Ebro en estudio	65
Fig. 2. El delta del Ebro entre las comarcas del “Baix Ebre” y “Montsià”	69
Fig. 3. Potencialidad del hábitat en función del caudal	100
Fig. 4. Emplazamiento de los 9 perfiles transversales analizados.....	156
 Fig. A1-1. Medias anuales (gráfica).....	 204
Fig. A1-2. Medias anuales (histograma)	204
Fig. A1-3. Medias móviles de orden 3 (gráfica)	205
Fig. A1-4. Medias móviles de orden 3 (histograma).....	205
Fig. A1-5. Medias móviles de orden 3·3 (gráfica)	206
Fig. A1-6. Medias móviles de orden 3·3 (histograma).....	206
Fig. A1-7. Medias móviles composición (gráfica).....	207
Fig. A1-8. Medias móviles composición (histograma)	207
 Fig. A3-1. Valores de los diferentes coeficientes de uniformidad hidráulica ...	 269

ÍNDICE DE TABLAS

	<u>Pág.</u>
Tabla 1. Valores del índice biótico BMWP'	29
Tabla 2. Modelo SCAF para la calidad del agua.....	30
Tabla 3. Parámetros controlados por la red COCA.....	33
Tabla 4. Parámetros microbiológicos y bióticos	34
Tabla 5. Clasificación de las aguas para el consumo humano	35
Tabla 6. Correspondencia entre el ICG y las diferentes categorías de calidad ...	36
Tabla 7. Valores del coeficiente n de Ganguillet-Kütter y Manning-Strickler	95
Tabla 8. Caudales en agosto según periodos de recurrencia	110
Tabla 9. Caudales en la estación seca según periodos de recurrencia.....	114
Tabla 10. Caudales medios anuales esperables según periodos de recurrencia	118
Tabla 11. Necesidades hídricas para el tramo final, según N. Prat	123
Tabla 12. Valores del coeficiente λ para diferentes tipos de suelo	127
Tabla 13. Temperaturas medias anuales de diversos observatorios de la cuena del Ebro	131
Tabla 14. Caudales mínimos según los diferentes criterios empleados	134
Tabla 15. Intervalos de admisibilidad de los caudales	136
Tabla 16. Caudales mensuales en gestión bianual (1966-85)	139
Tabla 17. Comparativa IRTA-Franquet ($m^3/seg.$).....	153
Tabla A3-1. Clasificación de los caudales diarios del río Ebro, en el periodo 1966-85, en Tortosa	261
Tabla A3-2. Caudales medios mensuales del periodo 1966-85	262
Tabla A3-3. Tabla auxiliar de cálculo-I	263
Tabla A3-4. Tabla auxiliar de cálculo-II	265
Tabla A4-1. Clasificación de los cauces naturales según categorías de rugosidad	276
Tabla A6-1. Velocidades próximas al fondo.....	310

* * * * *