RECUPERACION DEL TRAMO URBANO DEL RIO MANZANARES, MADRID (ESPAÑA) (*)

(RECUPERATION OF THE URBAN STRETCH OF RIVER MANZANARES, MADRID-SPAIN)

Félix Cristóbal Sánchez
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

533-26

RESUMEN

Se exponen en este artículo algunos aspectos de las obras de mejora de las condiciones del tramo urbano del río Manzanares, dentro del Plan de Saneamiento Integral de Madrid.

Para conseguir el objetivo de la recuperación del río han sido necesarias grandes obras de infraestructura (Estaciones Depuradoras, Colectores); estudios del cauce del río y de la calidad del agua; control de los vertidos, etc., así como toda una serie de acciones encaminadas a la repoblación piscícola y avícola, que actualmente es una realidad.

SUMMARY

In this article there are reported some aspects of the works for a betterment of the conditions of the urban stretch of River Manzanares within the full sanitation plan of Madrid.

To reach the recovery of the river, it has been necessary a number of works of infrastructure (purifying plant, drainpipes), studies of the river bed and of the quality of the water, control of wastes, etc. so as a number of actions aimed to restock the river with fishes and ducks, which is now a fact.

(*) *Extracto del libro del mismo título publicado por el Ayuntamiento de Madrid, del que es autor Félix Cristóbal Sánchez, Jefe del Departamento de Agua y Saneamiento del citado Ayuntamiento.*

1. INTRODUCCION

La mejora de las condiciones del río Manzanares es una consecuencia parcial de una acción más importante y más amplia que se ha llevado a cabo durante los últimos años en la ciudad: el Plan de Saneamiento integral de Madrid.

Los dos ríos que atraviesan el término municipal, Manzanares y Jarama, eran las consecuencias más patentes del déficit que en materia de saneamiento, especialmente en instalaciones de depuración de aguas residuales, padecía la villa.

El río Jarama, algo más caudaloso, recibe en importante cuantía, vertidos de otros municipios antes y después de su paso por Madrid. Por ello, la colaboración de la capital en la mejora de su calidad es más relativa.

Del río Manzanares, sin embargo, puede decirse, que hasta su incorporación al anterio es, casi absolutamente, tributario de las aportaciones de la gran urbe.

Con el Plan de Saneamiento Integral se construyen en el plazo de cuatro años (1989-1984) más de 150 colectores y siete Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Dos de estas Depuradoras (Valdebebas y Rejas) vierten al río Jarama y las otras cinco arrojan su efluente al río Manzanares. Una de estas cinco, la de Viveros de la Villa, lo hace antes de su paso por la zona eminentemente urbana. Las otras cuatro (China, Butarque, Sur, Suroriental) entregan sus aguas cuando el Manzanares empieza ya a abandonar este contacto urbano.

Con la puesta en marcha de estas depuradoras de aguas residuales se consideró necesario abordar complementariamente la acción directa en el cauce receptor, en el propio río, tal y como el Plan de Saneamiento Integral de Madrid preveía.

Se trataba pues, de rematar uno de los objetivos básicos del Plan: la recuperación del río y su entorno, tanto en los aspectos sanitarios como en los estéticos, recreativos y, en general, ecológicos.

Esta recuperación del río requería, como condición previa, necesaria pero no suficiente, el control y depuración de los vertidos.

Además, a la vista del río que se deseaba conseguir, había que definir el tipo de cauce más adecuado hidráulica, estética y ecológicamente hablando. Se trataba de garantizar su estabilidad, su capacidad de control de las eventuales avenidas y su calidad como soporte de la fauna y flora del ecosistema.

Este objetivo es evidente que no se consigue a corto plazo, simplemente mediante el vertido de agua limpia al río, sino que se requiere una planificación de las acciones a tomar para acelerar el proceso natural de recuperación, acompañada de un seguimiento de la evolución del río que permita detectar las desviaciones de los objetivos y aplicar medidas correctoras.

Se iniciaron, asimismo, las acciones necesarias para que el cauce del río alcanzase condiciones favorables. Dichas acciones se concretaron en una serie de obras que entraron en servicio a finales de agosto de 1984.

De esta forma, se han resuelto los problemas más inmediatos del tramo que se extiende desde el Puente de los Franceses hasta la llamada presa número 10, unos 300 metros aguas abajo del cruce de la M-30 sobre el río, con una longitud total de 7.940 metros.

Finalmente, se abordó la primera etapa de repoblación piscícola y avícola, introduciéndose los primeros ejemplares en septiembre de 1984.

La primera y fundamental acción vislumbrada en el Plan para paliar los problemas del tramo urbano del río Manzanares fue la construcción de la nueva E.D.A.R. de Viveros de la Villa, dado que en este punto se producía la incorporación más importante de aguas sin tratar, aguas arriba del núcleo urbano.

Esta nueva Estación Depuradora, una vez construida, se dotó de un sistema de conexiones con la Planta antigua existente y con el Colector de la margen derecha.

Este sistema de conexiones se llevó a cabo con objeto de conseguir una notable mejora en la versatilidad operativa del complejo de ambas plantas y su relación, tanto con el río, como con el colector de la margen izquierda, que lo liga al resto del sistema de saneamiento de la ciudad.

En efecto, la situación del complejo de depuración de Viveros, cuya aportación de aguas al río constituye la mayor parte de su caudal a su paso por la zona urbana o, incluso, la totalidad en época de estiaje, supone el cuidar, de forma excepcional, la calidad del efluente.

En líneas generales, el sistema al que hacemos referencia está compuesto de las partes siguientes:

a) Canal aliviadero de enlace entre la nueva planta de Viveros y el Colector de la Margen Izquierda.
b) Estación de bombeo a la planta antigua.
c) Tubería de conexión entre la estación de bombeo y la planta antigua.

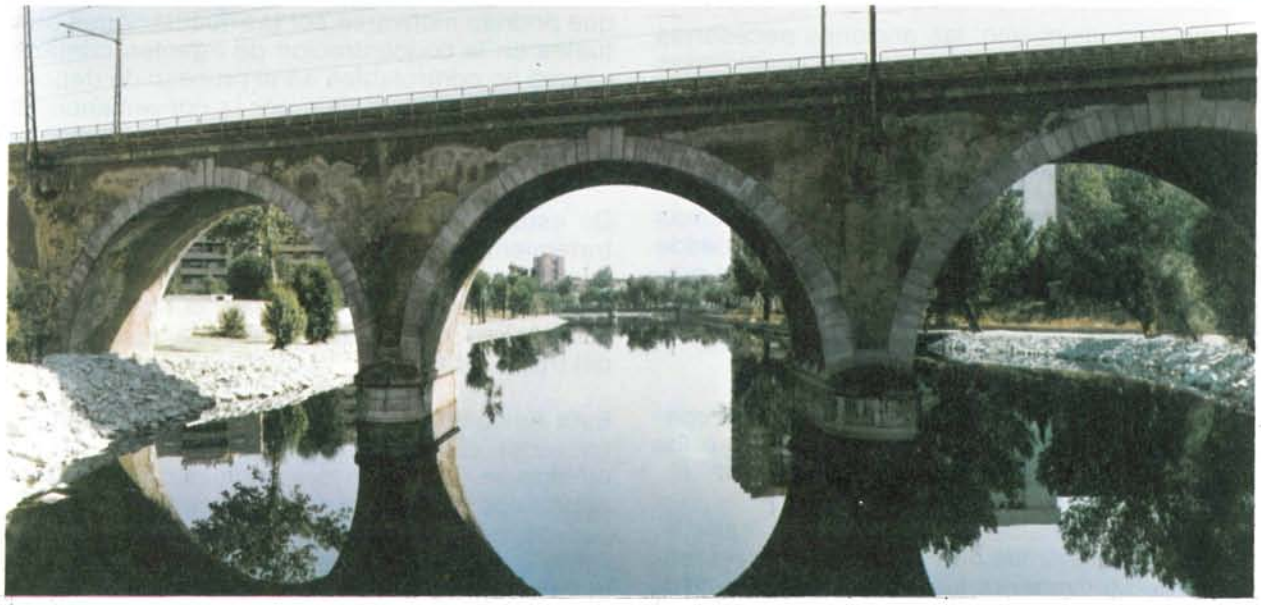
El objeto del canal citado en el apartado a) es el de poder disponer de un dispositivo hidráulico inmediato, para la perfecta distribución de caudales, con anterioridad al vertido del agua depurada al río.

Con él se puede garantizar el control sobre las variaciones de calidad en el agua vertida al río, que podrían motivarse por las fluctuaciones puntuales en la concentración de agentes contaminantes no controlables en el proceso de depuración de la planta, o bien por la conveniencia de efectuar operaciones en alguno de los sistemas de la instalación.

De esta forma, las aguas que son sometidas a tratamiento por la nueva depuradora, pueden ser desviadas, si se considera conveniente, al Colector de la Margen Izquierda y conducirlas a la Depuradora de La China, situada aguas abajo del tramo urbano.

Esta flexibilidad de operación puede permitir el no verter estas aguas al tramo urbano del río, cuando se considere que la calidad obtenida en el proceso de depuración no alcanza los límites deseables, circunstancia que es evidente podría llegar a producirse eventualmente por algún problema puntual anómalo, o bien por conveniencias de operación.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



Río Manzanares. Puente de los Franceses.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Aunque también es posible el desvío a este Colector de la Margen Izquierda antes de entrar el agua en la planta de Viveros, puede ser más conveniente, en ocasiones, efectuar el desvío después de someterse al proceso de depuración, a fin de no interrumpir la continuidad de éste, de manera parcial o total.

La estación de bombeo, situada a continuación del Canal anteriormente descrito, permite el envío de parte del caudal tratado en la nueva planta, a la antigua depuradora, para ser, de esta forma, sometida a un proceso complementario de afino.

En efecto, aunque es evidente que la nueva estación garantiza los rendimientos de depuración del efluente hasta un nivel de calidad satisfactorio, desde el punto de vista de la demanda bioquímica de oxígeno y de contenido de sólidos en suspensión, resulta, en cualquier caso, conveniente actuar sobre otros parámetros.

En este caso, se dan las condiciones propicias para llevar a cabo esta actuación, por un lado, al poder aprovechar las instalaciones de la antigua planta que, en otro caso, quedaría fuera de servicio y, por otro lado, al tratarse de una circunstancia en la que alcanzar el óptimo de calidad, en algunos parámetros, puede resultar imprescindible por lo crítico del caso.

Así, en los momentos de estiaje, en los que el caudal propio del río llega a anularse, el 100 por 100 del agua de éste será el que aporte este complejo.

En estas condiciones, el disminuir el valor del nitrógeno amoniacal hasta el mínimo nivel posible, resulta necesario, si se quiere asegurar la supervivencia de la vida piscícola.

Por este motivo, se consideró conveniente utilizar el tratamiento secundario de la planta antigua (lechos bacterianos y decantadores secundarios) para conseguir una nitrificación del efluente previamente tratado en la planta nueva, a fin de aminorar, al máximo, las incidencias sobre el cauce receptor, antes reseñadas.

Este proceso de nitrificación puede tratar, en condiciones medias, un caudal de 500 l/s, que supone del 35 al 50 por 100 del total tratado en el proceso secundario, pudiendo, incluso, incrementarse esta capacidad a costa de variar el porcentaje de recirculación de fangos.

2. ESTUDIOS RELATIVOS AL CAUCE DEL RIO

Estos estudios contemplaron diversos aspectos. En una primera fase se tomaron una serie de datos de apoyo a las posteriores actuaciones realizándose, además, fotografías y películas en soporte magnético para reflejar la situación anterior del río.

En una segunda fase, se procedió a contrastar el funcionamiento del río bajo distintas hipótesis. Con ello se han proporcionado elementos objetivos de juicio a la decisión sobre las obras realizadas.

Estos estudios fueron de cuatro tipos:

1. Estudio de los vertidos de los colectores.
2. Estudio hidrológico del régimen de caudales extraordinarios.
3. Estudio hidráulico de funcionamiento del río con caudales ordinarios y extraordinarios.
4. Estudio de la posible calidad del agua.

Como se ve, se trataba de analizar, por un lado, el funcionamiento del río en condiciones normales, desde el punto de vista hidráulico y de calidad, y por otro, el funcionamiento en condiciones extraordinarias de avenida. Dado que el río Manzanares está muy regulado por las presas de Santillana y de El Pardo, las avenidas no suponen un riesgo grande. Sin embargo, se consideró conveniente actualizar el conocimiento de este problema y comprobar que las modificaciones introducidas no producen peligro de desbordamiento.

El tramo estudiado en el que corresponde al encauzamiento actual, que se extiende desde la presa número 3 (Puente de los Franceses) hasta la número 10 (aguas abajo del puente actual de la M-30).

Del reconocimiento efectuado se desprendieron las consideraciones siguientes:

– *Presa número 3 (Puente de los Franceses)*

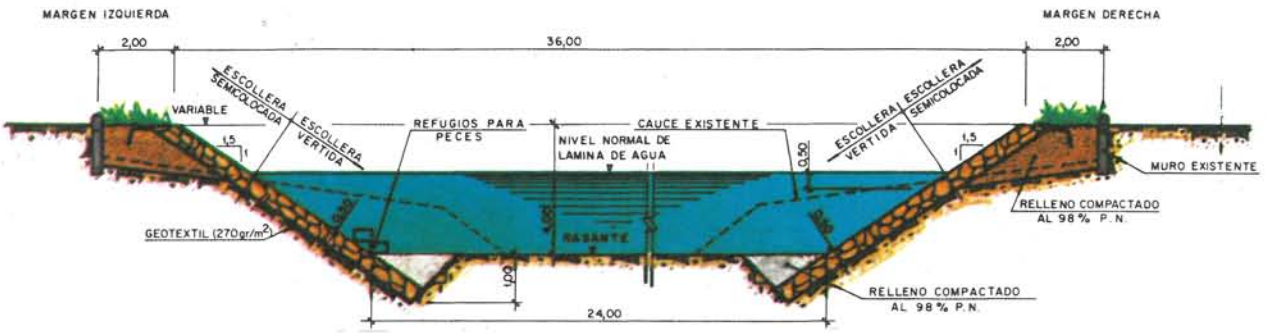
Carece de esclusa, con el inconveniente que supone al estar previsto un embarcadero junto al Puente de los Franceses. Dispone de una compuerta abatible, pero que puede favorecer la deposición de fangos aguas arriba. Debería considerarse la posibilidad de sustituir las compuertas a medio plazo.

– *Tramo entre las presas números 3 y 4*

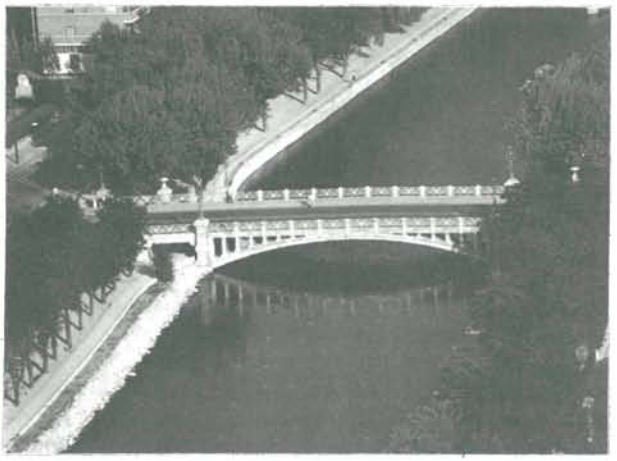
Tenía sección trapecial compuesta, en mal estado de conservación. Existía un proyecto de Confederación ya aprobado para sustituirla por una sección igual a la existente en el resto del río. Esta solución supondrá un coste elevadísimo debido a la envergadura de los muros previstos y al precio de la mampostería concertada de granito.

Se creyó conveniente sustituir el hormigón por una escollera, con o sin vegetación, que tendría un aspecto más natural y proporcionaría escondrijos a los peces, solución al mismo tiempo más económica.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



Sección tipo tramo superior entre presas 3 y 4.



Tramo 3 y 4 antes y después de las actuaciones.

Tramo 9 a 10 antes y después de las actuaciones.

Tareas rutinarias de limpieza.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

– *Tramo entre las presas números 4 y 9*

Es el tramo canalizado con sección cuasi - rectangular de mampostería. Se encontraba en buen estado general, salvo algunos puntos sucios por vertido de escombros, etc.

– *Presa número 9 (Legazpi)*

Como la número 3, no dispone de esclusa y las compuertas, abatibles, tendrían que revisarse o sustituirse a medio plazo.

– *Tramo entre las presas números 9 y 10*

Fue canalizado recientemente mediante una sección con taludes revestidos de hormigón con 28 metros de ancho de base.

El cauce tenía abundante vegetación. Debido a que la presa número 10 tiene las compuertas abiertas, necesitaba una urgente limpieza.

Se consideró la conveniencia de revestir el hormigón mediante una escollera colocada, para darle más aspecto de río y favorecer el desarrollo de los peces.

– *Presa número 10 (Final del encauzamiento actual)*

Es una presa reciente, con compuertas utilizables si se reponían los mecanismos que se encuentran en un almacén de la Confederación para evitar su robo. Habría que considerar la posibilidad de construcción de un paso de peces para dar acceso al tramo inferior del río.

3. EL FUNCIONAMIENTO DEL RIO: SOLUCIONES POSIBLES

Se estudiaron en este sentido las posibilidades de funcionamiento del río bajo el régimen de caudales ordinarios. Se entienden por tales a los que se producen en ausencia de lluvias fuertes o de aperturas importantes de las compuertas de El Pardo.

En esta situación la mayor parte del caudal del río procederá del efluente de la Depuradora de Viveros, con un medio de 1,6 m^3/s y hasta un máximo de 2,18 m^3/s. El resto procederá de las pequeñas aportaciones de los arroyos situados aguas abajo del embalse y de los escasos vertidos de éste. En el estudio se supuso que la gama de caudales normales estará entre 2 y 5 m^3/s.

El proyecto original de la Canalización del Manzanares partía de la idea de sustituir el río por una serie de embalses sucesivos con calado máximo de 2,80 metros y mínimo de 0,80 metros, llenando así un cauce rectangular de 40 metros de ancho, muy superior al requerido por el escaso caudal del río.

Las alternativas a adoptar, que tenían que conservar el trazado del río, ya irreversible por la infraestructura creada a su alrededor, podían ser de tres tipos:

1. Mantenimiento de la idea original.
2. Apertura de las compuertas para dar mayor velocidad al agua.
3. Apertura de las compuertas, combinada con la construcción de un cauce de sección adecuada a los caudales normales circulantes inscritos en la canalización existente.

Estas tres soluciones podían aplicarse a todo el río, o bien de forma selectiva a los tramos separados por las presas.

Antes de pasar a comentarlas en detalle, conviene hacer unas afirmaciones referidas a la creación de una fauna adecuada en el río:

– Independientemente de la solución que se hubiese adoptado habrá posibilidad de tener fauna. Sin embargo, las especies deben ser seleccionadas en función de los parámetros hidráulicos y químicos del agua.
– El estado del río, arenoso, liso y sin vegetación, es inadecuado para tener una fauna abundante. Era necesario facilitar refugios para reproducción y protección.
– Era preciso permitir el paso de los peces a través de las presas, con el fin de equilibrar poblaciones.

Con estas observaciones se pueden pasar a comentar las tres alternativas de solución citadas como posibles.

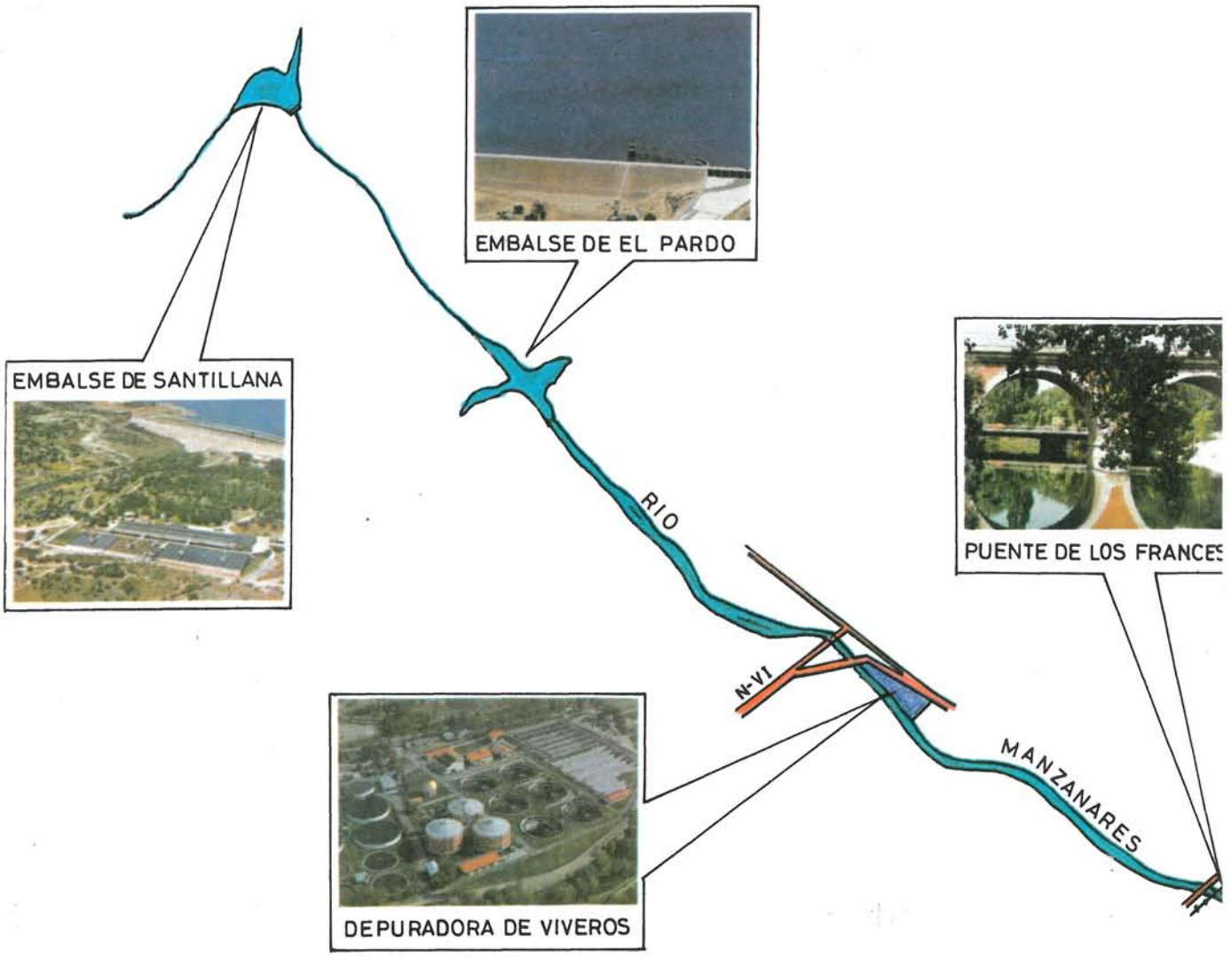
La tercera, de creación de un cauce de aguas bajas, tenía varias razones en su contra:

– No encajaba en todo el tramo comprendido entre el puente de Segovia y el de Legazpi, pues el cauce está «cercado» por la M-30, que no permitiría ver la lámina de agua.

– Mantenerla únicamente en el tramo del puente de la Reina Victoria - puente de Segovia, habría roto a la secuencia del río natural - semiurbano - urbano, seguida desde el embalse de El Pardo.
– Habría sido problemático mantener la limpieza de los márgenes inundables del cauce de aguas bajas.

A cambio de esto, habría sido una solución que mejoraría la calidad del agua y permitiría ver agua corriente. Por ejemplo, con un cauce de 15

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



metros de ancho de base se tendrían velocidades de 0,36 m/s. y calados de 0,35 metros para 2 m^3/s aproximadamente y de 0,48 m/s metros para 4 m^3/s.

La segunda solución, consideramos que debía ser descartable por inestable. Si se abren totalmente las compuertas, debido al bajo caudal, se formaría espontáneamente un cauce meandriforme más estrecho, incontrolado e inestable, por lo que se estaría en una variante de la solución anterior.

Por último, el mantenimiento de la idea original de convertir el río en una serie de embalses sucesivos puede no ser la óptima desde el punto de vista hidráulico - ecológico, pero toda la infraestructura adyacente y la propia canalización se han construido en esa hipótesis.

Los problemas principales que plantea son la incomunicación física para barcas y peces entre puntos separados por las presas, y la tendencia al estancamiento del agua y al deterioro de su calidad. Además se necesitaban crear refugios para los peces.

La creación de pasos de peces, dadas las velocidades máximas admisibles, obligaba a construir una estructura de 40 metros de longitud. Efectivamente, suponiendo que los peces adecuados al río Manzanares serían carpas, la velocidad del agua es conveniente limitarla a 1,5 m/s, según la bibliografía consultada en su momento.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

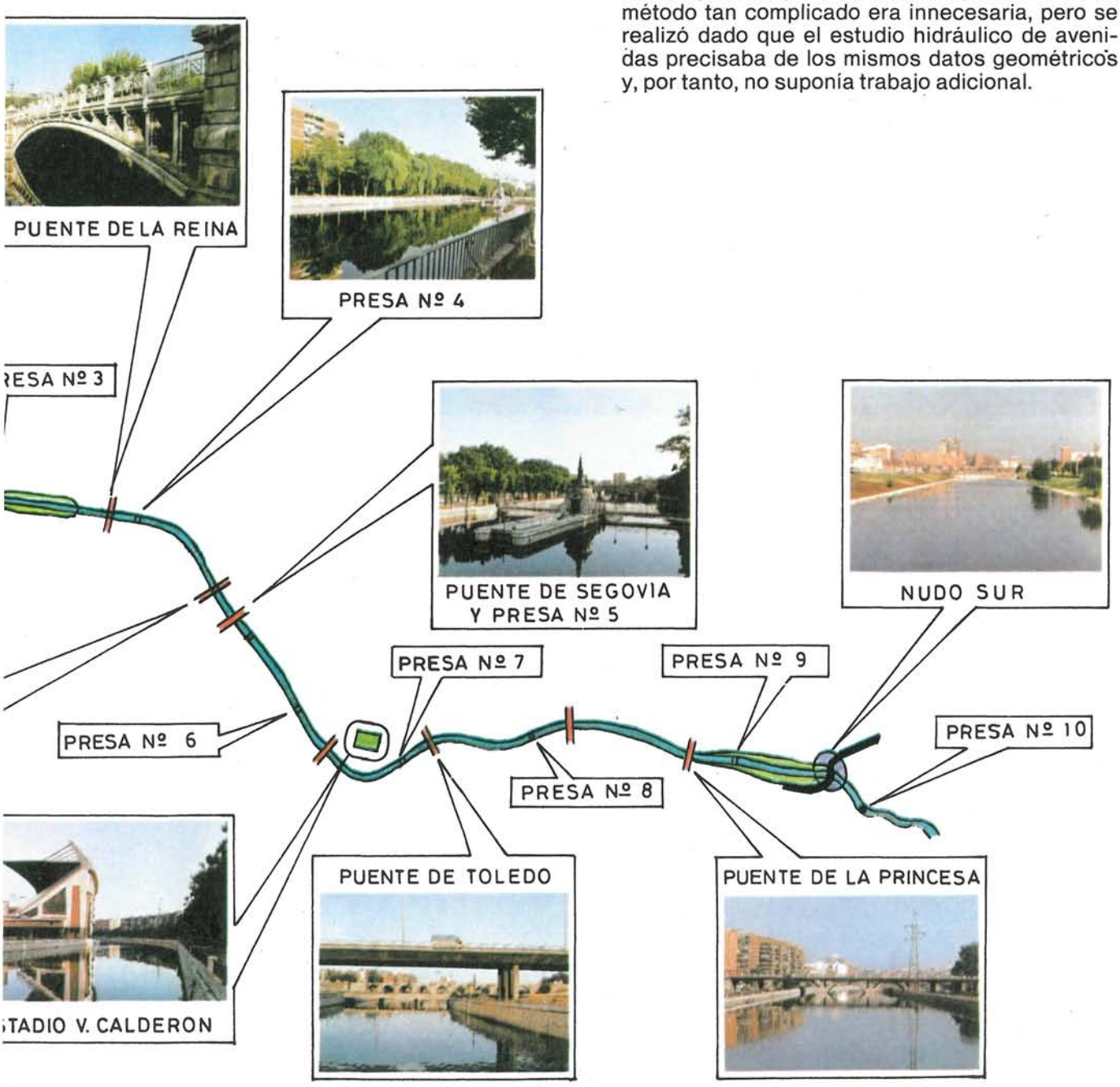
Esto obligó a instalar numerosos escalones intermedios en cada paso para salvarlos dos metros de desnivel con velocidades bajas.

La creación de refugios de peces tiene por objeto facilitar el desarrollo de una población abundante y proporcionar defensa contra las velocidades fuertes producidas por la apertura de compuertas para paso de avenidas o limpieza del cauce. Había dos soluciones posibles, el vertido más o menos desordenado, de rocas de tamaño suficiente para evitar su arrastre, y la colocación de piezas prefabricadas.

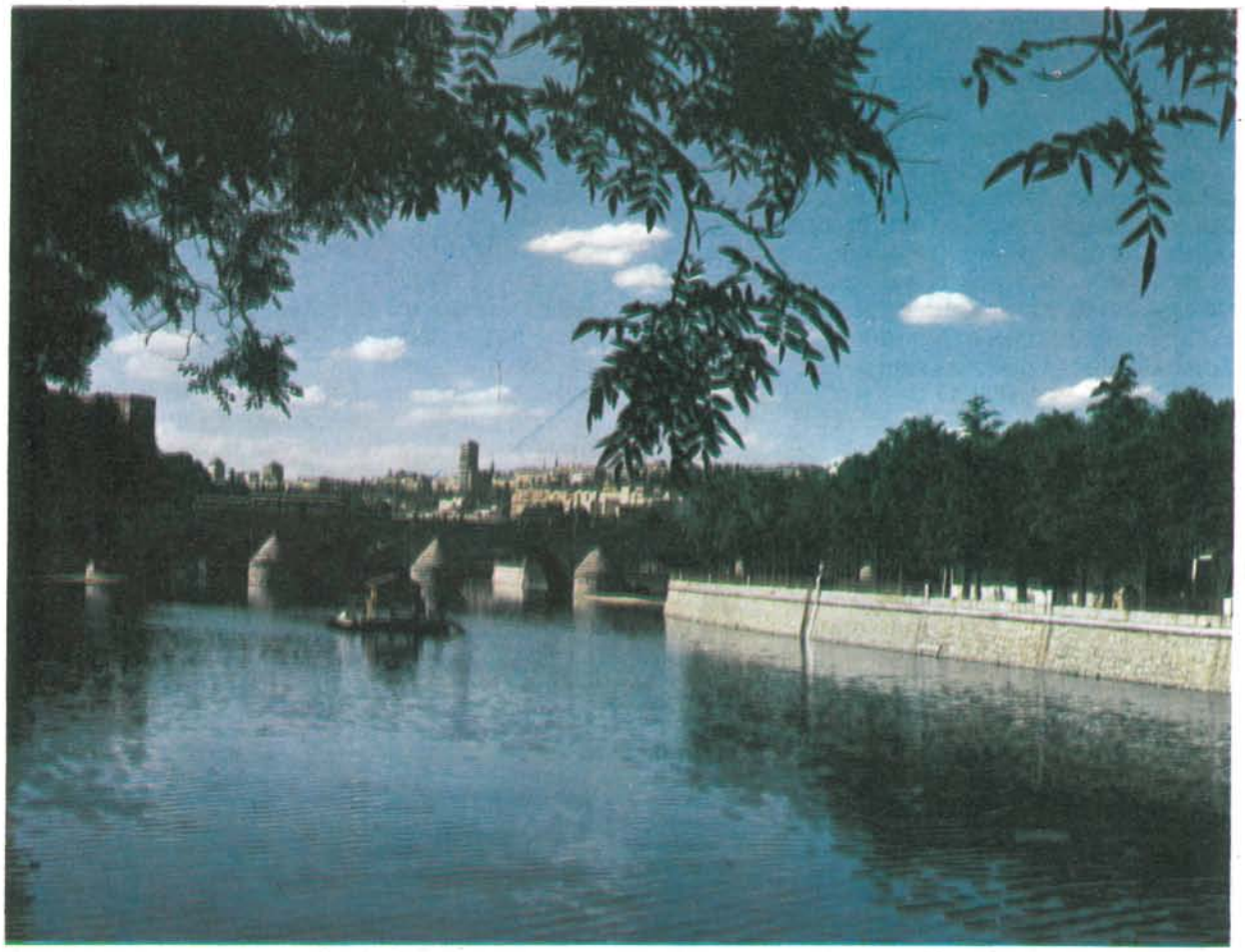
– *Caudales ordinarios*

Para las hipótesis comentadas se realizó el análisis del funcionamiento del río en régimen permanente. Para ello se usaron los perfiles transversales, nivelación y croquis obtenidos en los trabajos topográficos.

Mediante un programa de ordenador capaz de simular el régimen permanente en ríos con todo detalle, incluidos puentes, compuertas, variaciones longitudinales y laterales de rugosidad, etc., se obtuvieron las velocidades y niveles en cada perfil del río para distintas hipótesis de apertura de compuertas y de caudal. La aplicación de un método tan complicado era innecesaria, pero se realizó dado que el estudio hidráulico de avenidas precisaba de los mismos datos geométricos y, por tanto, no suponía trabajo adicional.



© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



El Puente de Segovia.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

En resumen, dichos resultados indican que con compuertas cerradas el agua circula muy lentamente, con velocidades entre 0,02 m/s y 0,05 m/s y calados de 2,90 a 0,80 metros para caudal de 2 m^3/s. En la realidad es probable que incluso se produzca algún tipo de estratificación con los consiguientes problemas de estancamiento de agua. Si se detectara disminución de la calidad por esta razón, habría que abrir periódicamente las compuertas de cada tramo para renovar el agua.

En la hipótesis de compuertas abiertas, suponiendo que el fondo es rígido, se darían velocidades de unos 0,40 m/s y calados de unos 0,20 metros para 2 m^3/s. Lo más probable es que la escasez de caudal para el cauce disponible daría lugar a una formación de un cauce meandriforme.

No se analizó la hipótesis de apertura de un cauce de aguas bajas por haber sido descartada previamente.

Para completar el estudio se analizó la hipótesis de apertura de un **bypass** lateral en cada presa, con el fin de forzar la circulación del agua de las capas inferiores, impidiendo el estancamiento. Se probaron varias secciones del conducto para impedir el vaciado del tramo. La conclusión alcanzada fue que no es probable que el **bypass** pueda forzar la circulación en una longitud significativa y que las características del flujo son similares a las del caso de compuertas cerradas con vertido. Por ello, se desechó la hipótesis por razones hidráulicas, aunque podría ser conveniente para evitar la formación de espumas.

– *Caudales extraordinarios*

Con los caudales de avenida obtenidos en el estudio hidrológico se realizó un análisis hidráulico de la capacidad del río.

Las avenidas en el tramo encauzado dependen fundamentalmente de la explotación del embalse de El Pardo. Si el embalse se opera correctamente, manteniendo la reserva de volumen vacío que permita laminar los hidrogramas que reciba, el caudal de salida del embalse es predecible con horas e incluso días de antelación. Esto permite manejar las compuertas del río de forma que se facilite el paso de la avenida sin problemas.

La geometría supuesta en el río es la siguiente: entre las presas 3 y 4, se toma sección trapecial de 24 metros de base y taludes 1,5:1, revestida de escollera y entre las presas 9 y 10 igual tipo de sección, con 27,30 metros de base y talud 1,35:1. En el resto se toma la sección existente. Se emplearon 75 perfiles transversales, y se consideraron los 19 puentes y pasarelas que cruzan el río, así como las siete presas que afectan al flujo. No se consideró la número 3 del Puente de los Franceses por estar aguas arriba.

Debido a la colocación de refugios de peces, se estimó una rugosidad de 0,030 que sería algo elevada para un cauce limpio, revestido en las márgenes y con el fondo de arena.

Las hipótesis analizadas en el estudio hidráulico fueron:

- Compuertas abiertas:
  - Caudales de 160 y 210 m^3/s correspondientes a la avenida de quinientos años de período de retorno de la cuenca, bajo el embalse de El Pardo y bajo el de Manzanares.
  - Caudales de 300 y 400 m^3/s para analizar la capacidad máxima del cauce.
- Compuertas cerradas:
  - Caudales de 50, 100, 160 y 200 m^3/s para definir el caudal de desbordamiento.

De los resultados completos del estudio resultó que el cruce del río es suficiente para contener las avenidas de quinientos años de período de retorno con holgura, siempre que las compuertas estén abiertas. La capacidad límite del cauce se estima en 300 m^3/s. En este caso, se alcanzan velocidades de 3 m/s como máximo. Las presas funcionan en carga y algunas pasarelas peatonales son rebasadas por el agua por estar dentro del cauce.

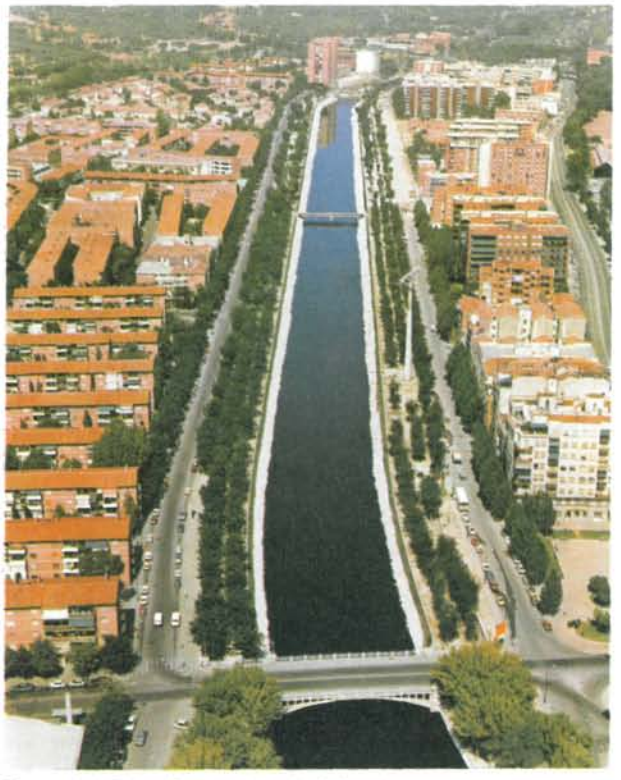
Con las compuertas cerradas se produce una pérdida notable de capacidad que hace que se produzcan desbordamientos para caudales superiores a 100 m^3/s. Para este caudal la lámina vertiente en las compuertas de las presas es casi de 1,50 metros, dando lugar a calados de 4,30 metros, que están a punto de rebasar los cajeros laterales. Este caudal corresponde a la avenida de veinticinco años de período de retorno para la cuenca bajo El Pardo y a la de diez años para la cuenca bajo el Manzanares. Es importante por ello que haya una gestión correcta del río, abriendo compuertas cuando haya peligro de avenida o se vayan a abrir los aliviaderos de El Pardo.

4. CALIDAD DEL AGUA

Uno de los aspectos que determinarán el desarrollo futuro del ecosistema es la calidad del agua. El problema del Manzanares radica en que su caudal al paso por Madrid estará formado primordialmente por el efluente de Viveros. Debe tenerse en cuenta que la calidad final de un tratamiento secundario deja mucho que desear si no se mezcla con un caudal importante de agua limpia.

En el Manzanares es importante analizar si la solución elegida va a favorecer o entorpecer el proceso de autodepuración del agua. Para ello será preciso un estudio ecológico detallado a lo

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



Puente de la Reina Victoria después de las obras.

Tramo M-30 sin limpieza de fondo.

Realización del ensanche del cauce.

P. de los Franceses aguas arriba antes de las obras.

Vista parcial de un tramo después de las obras.

largo del tiempo en una fase posterior. Sin embargo, se consideró necesario realizar un estudio aproximado que pudiera dar algunas indicaciones.

Para ello se empleó un modelo matemático de simulación de la evolución de la calidad en ríos en régimen permanente. El modelo, llamado QUAL-II ha sido desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

El análisis se ampliará en su momento, ya que el realizado no fue lo suficientemente detallado por las siguientes razones:

- Desconocimiento de la calidad representativa definitiva del agua depurada, que sólo pudo determinarse a partir de febrero-marzo de 1984 en que Viveros comenzó a entrar en régimen normal de funcionamiento.
- Falta de datos de calidad en el tramo encauzado, para calibrar los parámetros físicos, químicos y biológicos del modelo.
- Desconocimiento de la calidad futura de las aguas procedentes de la zona de aguas arriba de Viveros.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

A la vista de ello, el estudio se realizó en las hipótesis siguientes:

1. Caudales de 2 m^3/s y 5 m^3/s, representativos de la gama de caudales ordinarios futuros.
2. Características hidráulicas deducidas del estudio hidráulico, para compuertas abiertas y cerradas.
3. Calidad del agua entrante supuesta, similar a la prevista en Viveros.
4. Reaireación en presas, variable entre un valor optimista (K = 100) y otro pesimista (K = 10).
5. Valores medios de los parámetros de reacción, según la bibliografía.
6. No hay vertidos incontrolados en el tramo encauzado.

Con estas hipótesis se montó el modelo, que produjo como resultado la evolución de la calidad a lo largo del río. Dada la incertidumbre sobre los valores reales de muchos de los datos utilizados, se realizó un análisis de sensibilidad exhaustivo, mediante unas 40 pasadas del modelo.

Como indicadores de la calidad del agua se manejaron las concentraciones en oxígeno disuelto y en nitrógeno amoniacal, que son determinantes de la existencia de peces.

Los estudios realizados con el modelo indicaron que los valores con influencias en la calidad final, de los considerados variable, son por orden de importancia:

- El contenido en nitrógeno amoniacal.
- La reaireación de las presas.
- El oxígeno disuelto en salida de depuradora.

Aunque prácticamente se descartó el mantenimiento de las compuertas abiertas, se estudió su funcionamiento a efectos de calidad. En este caso, el problema de calidad proviene del contenido en nitrógeno amoniacal.

En efecto, el agua pasa con cierta rapidez y no hay tiempo para que se oxide a nitratos. En consecuencia, si la depuradora produce un nivel de $N\text{-}NH_3$ inaceptable para los peces, no se puede contar con la capacidad de autodepuración del río para reducir su concentración en una longitud tan escasa. Por la misma razón, la DBO no se reduce prácticamente, pero el oxígeno disuelto aumenta debido a la reaireación producida por la velocidad del agua.

En la hipótesis de compuertas cerradas, a la concentración en $N\text{-}NH_3$, hay que añadir como factor influyente la reaireación supuesta en las presas.

En efecto, al bajar notablemente la velocidad aumenta el tiempo de resistencia y, por tanto, la capacidad de oxidación de DBO y $N\text{-}NH_3$ en el tramo. Dado que se considera fija la concentración inicial de DBO, el valor del oxígeno disuelto inicial y la reaireación van a ser determinantes de la capacidad del río para reducir la concentración de $N\text{-}NH_3$ sin que el consumo de oxígeno lleve a su agotamiento.

De los tanteos realizados se desprende que sólo una hipótesis excesivamente optimista sobre la capacidad de reaireación en las presas permitiría garantizar unos niveles aceptables de oxígeno disuelto para una concentración inicial en $N\text{-}NH_3$ superior a 10 mg/l.

En el caso más probable de que la reaireación del agua en las presas fuese escasa, puesto que la altura del vertedero es de sólo dos metros, se necesitaría asegurar que el máximo de $N\text{-}NH_3$ en Viveros fuera de unos 5 mg/l para evitar la desoxigenación del agua.

Como consecuencia, fue preciso estudiar la posibilidad de tomar medidas adicionales que podían ser de tres tipos:

- Mejora de la oxidación del nitrógeno amoniacal de Viveros, cosa que aunque difícil parecía factible, a la vista del sobredimensionamiento de algunos elementos de la Depuradora.
- Realización de depuración terciaria de parte del caudal en los terrenos de la depuradora antigua.
- Reoxidación del agua en el propio río, mediante inyección de aire en casos extremos.
- Control de calidad del agua procedente del tramo superior y de los posibles vertidos de colectores.

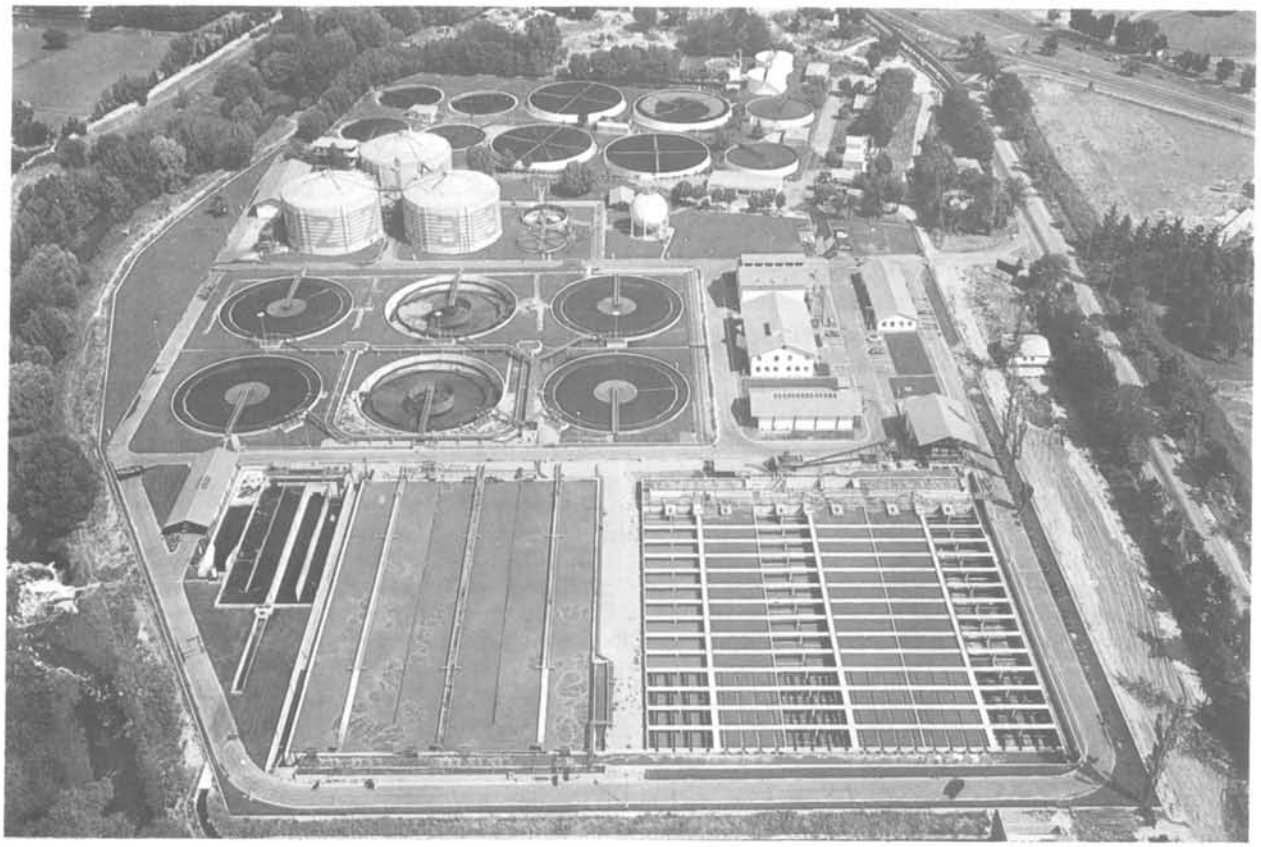
Además de estas medidas generales, se consideró la necesidad de un control permanente del río para impedir situaciones críticas mediante una gestión adecuada. Las medidas correctoras en este sentido serían:

- Derivación a La China del efluente de Viveros.
- Apertura de las compuertas de las presas para renovación del agua, con las debidas precauciones para la conservación de la fauna.
- Apertura de compuertas del embalse de El Pardo.

5. CONTROL DE VERTIDOS AL RIO

Una vez llevadas a cabo las obras de construcción de la nueva Estación Depuradora de Viveros, así como las de todos aquellos colectores de la red principal que aportaban, en tiempo seco, aguas residuales al río, quedaban resuel-

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



Vista general de la estación depuradora de Viveros.

tos los problemas más importantes de éste, en cuanto a calidad del agua a circular por él.

No obstante, la existencia de numerosos vertidos puntuales de menor envergadura suponían, todavía, puntos críticos, a través de los cuales la contaminación podía, en menores dosis, invadir su cauce.

Por esta razón, se procedió a inventariar, analizar y cotejar cada uno de estos puntos, estudiando el origen, la causa y la naturaleza de los posibles vertidos.

El análisis se llevó a cabo desde la presa de El Pardo hasta el Nudo Sur, dado que este tramo de río era el que se había seleccionado como objeto de actuación y constituía, por tanto, el espacio sobre el que era preciso sentar las bases para iniciar un control permanente de la calidad del agua.

Los trabajos se llevaron a cabo partiendo de los datos que poseíamos en los archivos de información de la red de saneamiento, completando ésta con unas visitas específicas a cada uno de estos lugares para confirmar o rectificar, en su caso, los datos de partida.

Como consecuencia de estas visitas e inspecciones, que supusieron un recorrido de todo el río durante la época en que éste fue vaciado, se detectó la existencia de otros puntos no inventariados.

A través de este proceso, que conllevó el levantamiento de un croquis de cada caso, la toma de fotografías de los puntos en cuestión y el análisis e informe de las causas u orígenes de estas posibles vías de aportación, se preparó un nuevo inventario específico de los ciento treinta y seis vertidos directos detectados.

Este conjunto de puntos se clasificó en ocho grupos, que correspondían a distintas problemáticas.

Así, puede decirse que los diversos casos existentes, fueron los siguientes:

a) Puntos de vertidos que correspondían a absorbederos de lluvia de las vías adyacentes.

La aportación de estos vertidos queda, pues, reducida a los momentos de lluvia, por lo que se trata de aguas no contaminadas o con índices muy bajos de contaminación, admisibles en esas circunstancias.

Se mantuvieron, por tanto, estos vertidos en las condiciones existentes.

b) Puntos de vertido correspondientes a aliviaderos de los colectores marginales.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Estos aliviaderos no tienen aportación en tiempo seco y solamente arrojan aguas pluviales al río en los momentos en que se alcanzan las condiciones de calidad previstas en sus respectivos diseños.

Se mantuvieron, por tanto, en las condiciones existentes, pero se tomó la determinación de llevar a cabo en un futuro inmediato una modificación en sus características y estructura, a fin de optimizar al máximo la dilución de aportación al río.

En esta línea, el propio Plan de Saneamiento previó la construcción de estas obras durante el año 1985.

c) Vertidos de aguas pluviales de diverso origen: espacios abiertos, bombeos del ferrocarril metropolitano, bombeos de aguas subterráneas, etc.

Al tratarse, también de aguas limpias, se mantuvieron sin modificación.

d) Puntos de vertido de drenaje del río.

El trasdós de los muros de la zona canalizada del río tiene dispuesto un drenaje longitudinal que se comunica con el cauce en determinados puntos, que, por su propia función, se han mantenido.

e) Vertidos de aguas procedentes de otros municipios.

Una aportación singular resulta ser la de los municipios de Las Rozas, Las Matas y Torrelodones que, parcial o totalmente, conducen sus aguas a través del arroyo de La Trofa.

Al tratarse de competencias de estos municipios, se llevaron a cabo las gestiones pertinentes para solicitar, tanto de la Comunidad Autónoma como de los propios Ayuntamientos, la actuación más urgente posible en sus núcleos, dado que, en definitiva, y pese a su pequeña proporción de aportación, estos caudales tienen su último destino en el río Manzanares.

Por parte del Ayuntamiento de Madrid se han llevado a cabo, dentro del espacio de su propio término municipal, soluciones provisionales que palían el problema en gran medida, especialmente en tiempo seco.

Estas soluciones han consistido en la recogida de estos caudales, precisamente desde la frontera de los términos municipales, de forma tal que, al transcurrir por el de Madrid, ya quedan canalizados hasta su destino en la Depuradora de Viveros, a la que se incorporan a través de la obra de trasvase construida desde la margen derecha a la margen izquierda, atravesando en obra de fábrica el propio río.

f) Vertidos de aguas fecales de varias instalaciones situadas aguas arriba del Puente de San Fernando.

En este grupo pueden incluirse las que corresponden a servicios de los complejos de Somontes, Playa de Madrid, Hipódromo de la Zarzuela, etc.

La solución a estos vertidos se tomó incorporando sus acometidas a los colectores existentes, en los casos en que éstos discurrían en su proximidad, o bien inspeccionando y corrigiendo los casos en que, por su alejamiento de la red general, las aguas fecales eran tratadas en pequeñas instalaciones aisladas. En el último caso, una vez puestas al día estas instalaciones, se inició un programa de intensificación del control e inspección de su funcionamiento.

g) Vertidos de aguas residuales en el tramo Puente de San Fernando-Nudo Sur.

Los escasos vertidos de esta naturaleza existentes, se acometieron a los colectores del sistema municipal, quedando definitivamente suprimidas sus aportaciones directas.

h) Restos de antiguos vertidos.

En los trabajos de campo efectuados, se comprobó que existían varios puntos que representaban apariencia de aportaciones.

Se demolieron las obras residuales existentes, eliminándose, de una manera definitiva, al comprobar que estaban fuera de servicio.

6. OBRAS EN EL CAUCE DEL RIO

Criterios básicos

Del conjunto de estudios realizados se desprendieron varias conclusiones generales relativas a las obras de acondicionamiento del cauce:

a) Se aceptó el funcionamiento del río como una serie de estanques separados por presas con las compuertas cerradas.

b) Para permitir el mantenimiento del equilibrio de la población piscícola en cada tramo, se determinó instalar pasos para peces en cada presa. Con ello se podrá reponer la población de aquellos tramos en que ésta se reduzca por ser vaciados de agua.

c) El desarrollo de la población piscícola debía favorecerse colocando refugios para peces, que además servirían para proporcionar resguardo en los casos en que se proceda a la apertura de las compuertas.

d) La acumulación de fangos en ciertas zonas del cauce y la asistencia generalizada de im-

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

portantes cantidades de vertidos heterogéneos y restos de cimentaciones hacían necesaria la limpieza a fondo.

e) En las zonas del río donde aún no se había llevado a cabo la canalización, era conveniente actuar sobre las márgenes del río, protegiendo éstas con un doble objetivo: asegurar la estabilidad de los taludes y colaborar a embellecer los límites exteriores del río, dando un primer paso hacia el futuro Parque Lineal del Manzanares.

f) Se consideró, asimismo, conveniente actuar sobre otros aspectos secundarios de instalaciones del río, deterioradas con el tiempo.

Tal es el caso de las barandillas metálicas de remate de la zona canalizada, en mal estado en algunos tramos o inexistente en otros, así como las cubiertas de pizarra de las casetas que alojan los mecanismos de las presas, en otros puntos de menor importancia.

Las anteriores conclusiones, de carácter general, dieron lugar a la realización de un conjunto de obras en el cauce del río, adoptando en cada caso las soluciones que a continuación pasamos a justificar de manera somera:

Acondicionamiento del tramo Puente de los Franceses - Puente de la Reina Victoria

El tramo entre las presas número 3 (Puente de los Franceses) y número 4 (San Antonio de la Florida) se encontraba en pésimas condiciones. Tenía una sección trapecial, correspondiente al encauzamiento antiguo, con taludes laterales de hormigón totalmente destruidos.

Esta sección tenía un cauce de aguas bajas que ya no estaría justificado al admitir la forma de funcionar el río, como una sucesión de estanques separados por presas.

Por esta razón, el antiguo organismo Canalización del Manzanares, hoy día asimilado a la Confederación Hidrográfica del Tajo, tenía realizado e, incluso, aprobado un proyecto con la misma sección rectangular que el tramo urbano central.

Esta obra no llegó a ejecutarse y realmente su coste en los momentos actuales habría sido prohibitivo, tanto por los muros, de encauzamiento, como por la mampostería de granito proyectada.

Por nuestra parte, considerábamos que era preciso para tratar este tramo, buscar una solución que, al mismo tiempo que más económica, fuese de más rápida ejecución y pudiese proporcionar un carácter menos artificial al río, algo que pudiese representar una transición entre la zona urbana existente aguas abajo, revestida de mamposteria, y la zona de aguas arriba que se encontraba en estado natural.

Con este deseo de conseguir para este tramo un aspecto semiurbano, de transición entre el campo y la urbe, surgió la idea de revestir de escollera los taludes.

El Manzanares, así, cuando comienza a perder sus viveros naturales, cuando se acercan a él las edificaciones, pero antes de que éstas le abrumen discurre durante un trecho bañando piedras dispuestas en su entorno por el hombre, como en un aviso de su llegada a la gran urbe.

Las obras en este tramo han supuesto efectuar el derribo de los restos del encauzamiento antiguo con demolición del hormigón, el ensanchamiento de la sección trapecial del río y su protección con escollera granítica.

Esta escollera viene a proporcionar, además, una ventaja adicional. En efecto, su disposición permite que los huecos existentes entre las piedras que le componen constituyan un refugio natural para la fauna piscícola.

El plano horizontal, de escasa anchura, que se crea entre el borde superior de la escollera y el pretil que separa al río de la calle, se ha acondicionado de césped, intercalando pequeños arbustos en algunos tramos, con objeto de romper su monotonía y continuidad.

Acondicionamiento del tramo Puente de Legazpi - Nudo Sur

De este tramo puede decirse algo parecido al anterior. Su sección también era trapecial, si bien en este caso los taludes de hormigón se encontraban en buen estado, dada su relativamente reciente construcción.

También aquí se quiso buscar un efecto de transición entre la sección urbana central y el río natural, existente nuevamente aguas abajo.

Por ello, sobre el talud de hormigón y sin levantar éste, se extendió la escollera granítica en una disposición análoga a la anteriormente descrita, rematando los laterales con césped y arbutos.

Pasos de peces

El diseño de estos pasos se ha realizado con un criterio conservador, considerando que los posibles espacios existentes en el río, en un plazo inmediato o en un futuro, podrán ser la carpa, la boga o incluso el barbo. Por esa misma razón conservadora se han tenido en cuenta las especies más lentas y los peces más pequeños, reduciendo así, al mínimo, las velocidades del agua.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

El tipo de paso seleccionado ha sido el de estanques sucesivos con paso sumergido. Consiste éste en un canal compartimentado en estanques mediante tabiques verticales, de forma que cada dos estanques se comunican a través de un orificio en el tabique. El desnivel de agua a salvar se reparte entre los diversos estanques, reduciendo al mismo tiempo la velocidad del agua.

Se han construido en total siete pasos para peces que se corresponden con las presas números 3 a 9 del río.

Los pasos correspondientes a las presas números 5, 6, 7 y 8 se han dispuesto en el propio cauce, aprovechando las antiguas pequeñas esclusas existentes en dichas presas, ante la imposibilidad física de construirlos lateralmente por falta de espacio disponible.

Por el contrario, los pasos correspondientes a las presas números 3, 4 y 9 se han construido situándolos en la parte exterior del muro de encauzamiento del río, conectándolos a éste a través de orificios de entrada y salida.

Todos ellos tienen unas características semejantes: veintidós estanques de 1,80 metros de longitud con comunicación por orificio de 30 centímetros y tabiques vertedero de 20 centímetros de espesor con diferencia de cota de 10 centímetros entre tabiques sucesivos.

En los pasos laterales, los elementos constructivos, tales como barandillas, pilastras de granito, accesos, etc., se han diseñado del mismo tipo que los existentes en la zona con la idea de que estas obras no supongan estéticamente un rechazo con el entorno existente.

Galería de observación

En el paso de peces de la presa número 4, próxima a San Antonio de la Florida, se ha construido una galería de observación.

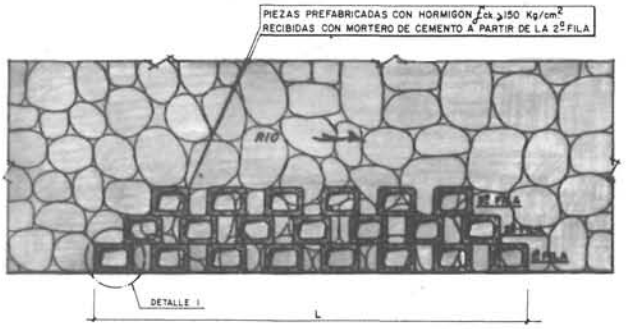
Esta galería tiene por objeto poder ver bajo el nivel del agua cuatro de los estanques centrales del paso, a través de otros tantos ventanales dispuestos en la galería y construidos por acristalamiento de vidrio laminar securizado.

Tiene una anchura de 2,50 metros, coronada con una bóveda de arco rebajado, y una longitud de nueve metros.

El acceso a ella es mediante una escalera de ida y vuelta formada por 27 escalones.

Refugios para peces en el tramo intermedio

El fondo del río es prácticamente plano, constituido por arena fina y sin vegetación. Las márgenes tampoco proporcionan refugio, tanto por falta de huecos como de vegetación. Por tanto, era necesario recurrir a la preparación de refugios artificiales en el tramo intermedio, que favorezcan el desarrollo de las poblaciones piscícolas.



Refugio para peces en tramo canalizado.

Hay que hacer notar que la falta de refugios no impide el desarrollo de una población piscícola, pero limita su tamaño. Por el contrario, a mayor número de refugios, mayor potencial de crecimiento de la población.

Existían dos posibilidades de refugios artificiales en este tramo. Una de ellas era realizar vertidos de escollera gruesa en distintos puntos del cauce, con un tamaño suficiente para impedir su arrastre por el río en avenida. La otra posibilidad era utilizar piezas prefabricadas de hormigón colocadas en puntos seleccionados.

Se optó por esta segunda solución, debido a que se puede garantizar un mayor número de huecos de tamaño más grande y su coste total era muy parecido, debido a la fabricación en serie y a la facilidad de colocación.

Por tanto, se dispusieron unas piezas prefabricadas de hormigón de forma paralelepipédica (hueca) con 30 × 40 centímetros en la boca y 40 centímetros de profundidad. Las piezas se colocaron a mano sobre una base de escollera para prevenir socavaciones, dejando entre ellas un espacio de 20 centímetros que además de facilitar la colocación, aumenta el número de huecos disponibles. En las zonas cercanas a las presas, donde el calado es grande, se colocaron en tres filas superpuestas, con los bloques al tresbolillo y recibidas con mortero. A medida que desciende el calado se pasa a dos y una fila de elementos.

Los grupos de elementos se han dispuesto de forma discontinua, junto a los muros del encauzamiento, en zonas que, dentro de la uniformidad del cauce, quedan fuera del de aguas bajas que se genera espontáneamente al vaciar cada tramo. Por término medio, cada tramo entre presas, de aproximadamente un kilómetro, tiene unos 600 metros de refugios con unos 1.800 elementos. Esta densidad es suficiente, aun en el caso improbable de que algunos bloques de las filas

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Vista parcial de un tramo canalizado.

inferiores queden totalmente obstruidos por aterramiento.

En los tramos de sección trapecial no se dispusieron estos refugios artificiales de hormigón, dado que en ellos el papel de refugios quede asumido, como se ha indicado anteriormente, por los huecos creados por las escolleras de los taludes.

Limpieza del fondo del cauce

La observación directa del cauce del río, efectuada durante el vaciado llevado a cabo con anterioridad y la toma de datos y muestras del fondo, permitieron determinar el alcance real de la limpieza y tratamiento necesario para el fondo.

Como se ha indicado anteriormente, existían zonas concretas en que la acumulación de fangos era importante, en tanto que otras presentaban un aspecto aceptable. Puede citarse como zona específicamente anegada de lodos la correspondiente al tramo aguas arriba de la presa número 3 (Puente de los Franceses).

Otras zonas o tramos destacaban singularmente por la cantidad de escombros acumulados en el cauce, probablemente procedentes de la construcción a lo largo del tiempo de edificaciones aledañas que utilizasen el río como vertedero, con lamentable criterio. Son destacables en este sentido los tramos próximos a las presas números 6 y 7 en las inmediaciones del estadio Vicente Calderón.

Además de estos casos destacables, podemos afirmar que el río, en toda su longitud, contenía toda clase de basuras y materiales alojados en su fondo, no ya aquellos que pudiesen provenir de orígenes naturales, como troncos, palos o piedras procedentes de arrastres espontáneos, sino auténticos depósitos y restos de un mal trato ciudadano, como bancos, señales de tráfico, colchones, botellas, cajones, tramos de barandilla, o restos de otras acciones humanas como proyectiles de guerra, encontrados en el lecho.

Todo ello llevó a la necesidad de efectuar una limpieza del fondo, retirando los lodos con actividad y extrayendo las basuras y restos acumulados.

No debe hablarse, por tanto, de un dragado absoluto en el sentido de haberse retirado un espesor constante del fondo, ya que esto ni habría sido necesario, ni conveniente, dada la naturaleza del fondo del río, arenosa. La acción, pues, se redujo a lo conveniente en los sentidos técnico y económico: retirada de aquellos materiales nocivos para la consecución de la calidad necesaria del agua y para el buen desarrollo de la vida en ella.

Se dejaron, por tanto, formando parte del lecho del río, las arenas y gravas que lo constituyen de forma natural y aquellos materiales que, con el paso del tiempo, se habían mineralizado e incorporado al mismo, no provocando, por tanto, acción nociva alguna.

Esta acción de limpieza se llevó a cabo en un espacio de tiempo realmente breve, con un despliegue importante de maquinaria y medios, dadas las evidentes dificultades que la operación tenía por las dificultades de espacio para la acumulación de estos materiales extraidos. En efecto, la proximidad de la vía M-30, con un tráfico importante, la sección vertical del paramento lateral del río, el arbolado inmediato y en general el escaso espacio disponible fueron determinantes importantes que condicionaron efectuar esta acción en la época estival, prolongando las horas de trabajo, en gran parte de los casos, para coincidir con la disminución del tráfico en las vías laterales, facilitando las maniobras de la maquinaria.

En la operación se retiraron más de 50.000 toneladas de fangos y materiales diversos entre el Puente de los Franceses y el Nudo Sur.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Reparación de instalaciones existentes

Además de las obras principales descritas anteriormente se actuó sobre determinados aspectos de instalaciones ligadas al río que se encontraban en mal estado por el paso del tiempo o que requerían mejoras con miras al nuevo tratamiento del conjunto.

Así, las barandillas metálicas de coronación del nuevo tramo canalizado, que en muchos casos habían desaparecido, fueron repuestas o reparadas, circunstancia que, asimismo, se daba en el caso del murete divisorio del cauce en su tramo trapecial, descalzado en muchos casos.

La reparación de las cubiertas de pizarra de las casetas de alojamiento de mecanismos de las presas, la corrección de pequeñas averías en compuertas de presas y la reposición de algunos elementos de granito han sido también objeto de actuación.

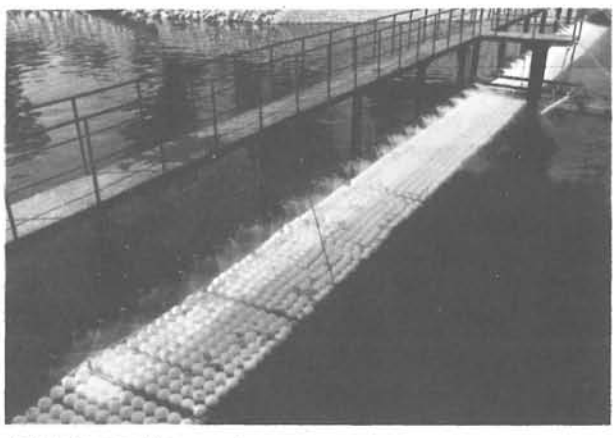
De igual forma, se han colocado más de 700 metros de defensa doble onda para aislar en la zona del estadio Vicente Calderón, la calzada lateral, del borde superior del río.

Instalaciones antiespumantes

Uno de los problemas que se creaban en el tramo urbano del río Manzanares era el de la formación de espumas al pie de las presas que lo jalonan, como consecuencia del desnivel de dos metros del salto.

Con el fin de conseguir la eliminación de estas espumas se estudiaron, en su momento, varias soluciones de diversa índole, resultando, la mayor parte de ellas, prohibitivas desde el punto de vista funcional y económico.

A la vista de ello, se diseñó un sistema que se instaló aguas abajo de cada presa, desde la número 3 a la 9, cuyo objetivo era efectuar una degradación de estas espumas mediante el empleo de una cortina de agua sobre una barrera de bolas de **porexpan**.



Instalaciones antiespumantes.

La barrera formada por bolas de este material tiene una anchura de 1,5 metros, yendo las citadas bolas montadas sobre un marco de tubería de acero galvanizado. Con ello se cumple una doble misión, por un lado las espumas quedan retenidas en esta barrera, evitando su desplazamiento aguas abajo, y por otro lado, se evita el choque directo de la cortina de agua contra la superficie del río, eliminando, de esta forma, la posibilidad de nueva formación de espumas.

El agua es bombeada por dos bombas sumergibles situadas sobre el pozo existente aguas abajo de la represa, e impulsada a tavés de sendas tuberías (una para cada mitad del río) de un diámetro de 2 1/2", colgadas de la pasarela, mediante unos soportes que permiten regular la altura, en función del nivel del río.

A esta tubería se acoplan una serie de difusores, en tres direcciones diferentes y desfasados 20º, uno con respecto a otro, con el fin de que cubran toda la barrera de bolas de **porexpan.**

Las bombas van conectadas a un cuadro situado en la caseta de servicio de las compuertas y conectado a la acometida existente para el servicio de las mismas.

Casetas flotantes para fauna avícola

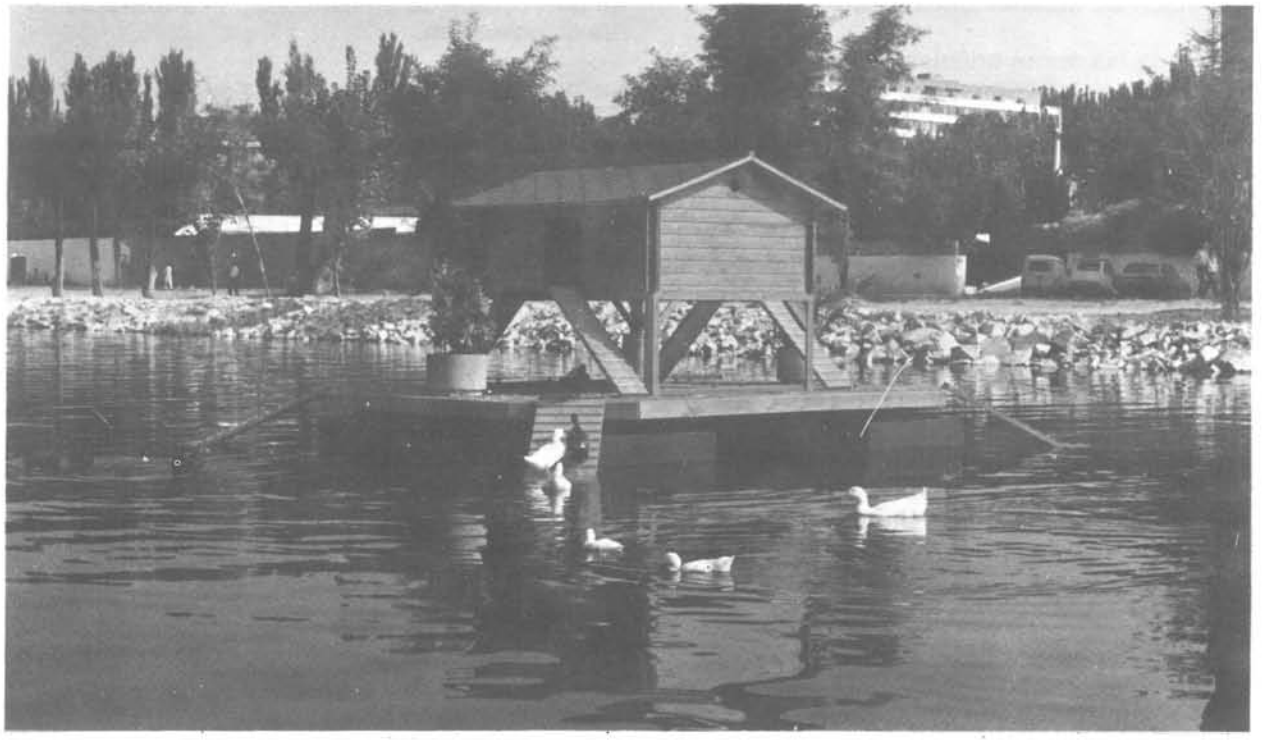
A lo largo del tramo objeto de actuación se han instalado cinco isletas o casetas flotantes, que tienen por misión servir de refugio a las aves acuáticas. Están constituidas por una plataforma rígida compuesta por cinco placas aligeradas de hormigón pretensado, de anchura aproximada de un metro, que componen una superficie rectangular, con las esquinas cortadas con dimensiones totales de 4 × 5 metros. Su superficie está pintada a efectos estéticos y de protección.

Esta plataforma descansa y se sujeta en una estructura metálica formada por dos pórticos de perfil normalizado, que hacen a su vez de enlace con los elementos que permiten la flotabilidad. Dichos pórticos quedan rigidizados mediante unas cruces de San Andrés y la propia plataforma de hormigón. Toda la estructura metálica está protegida con una pintura epoxídica.

Cada unidad dispone de dos flotadores construidos en chapa de acero de carbono, que tiene un volumen aproximado de 4 m^3/ud.

Estos elementos son de sección mixta (semicircular - rectangular) en forma de casco de barcaza y tienen unas dimensiones de 1,30 × 0,95 × 3,90 metros, habiéndose rellenado interiormente con patiestireno expandido y protegidas exteriormente con pintura epoxídica.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



Caseta flotante para fauna avícola.

Encima de la plataforma se ubica una caseta refugio, construida en tablón de madera de pino, machihembrada protegida con dos capas de barniz (antifíngico y terminación), de dimensiones en planta de 2,5 × 2 metros. La citada caseta, que se configura como un palafito, se soporta en una estructura metálica de perfil normalizado convenientemente protegido.

Su suelo es de tablero aglomerado, antihumedad y pintado.

La base del tejadillo es un tablero sobre el que se ha colocado una lámina asfáltica decorativa, imitando teja.

La caseta, interiormente, dispone de tabiquillos de separación y refugio, con sendos accesos en forma de rampa a ambos lados de las entradas.

Toda la plataforma está canteada con tablón de madera de pino de similar calidad a la de la caseta y dispone de cuatro plataformas de acceso para los animales, también construidas en madera y que disponen de sus correspondientes flotadores.

La isleta dispone de jardineras como elementos ornamentales.

Estas unidades quedan ancladas al fondo, merced a unos dados o «muertos» (seis unidades) prefabricados de hormigón, que se unen por medio de cables tensores a la propia isleta.

7. CARACTERISTICAS GENERALES DEL RIO MANZANARES EN SU TRAMO URBANO

Debido a la peculiar conformación del tramo urbano del rio Manzanares, tanto en el aspecto físico de su cauce como de la calidad del agua, se presentan una serie de problemas a la hora de conseguir el establecimiento y mantenimiento de un sistema ecológico equilibrado.

Esta serie de problemas se pueden resumir en dos aspectos generales que condicionan la formación de dicho ecosistema. Estas son las características del cauce y la calidad del agua.

En primer lugar, y atendiendo al cauce, cabe señalarse que debido a su naturaleza artificial no ofrece las condiciones óptimas para el asentamiento, de forma natural, de un sustrato vegetal necesario para el desarrollo de las comunidades biológicas asociadas y para la reproducción de las especies piscícolas.

Otro condicionante a tener en cuenta es el hecho de la existencia de presas que favorecen la sedimentación de sólidos en suspensión, creando un sustrato óptimo para el desarrollo de microorganismos anaerobios productores de metano y ácido sulfhídrico; no obstante, dichas presas pueden desempeñar un papel importante en la regulación y mantenimiento del volumen de agua y en la oxigenación.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

En relación a los inconvenientes que podrían presentar el cauce y las presas, en una eventual población piscícola, se han tenido en cuenta aspectos como la construcción de pasos para peces en las presas y de refugios en los tramos canalizados con muros de mampostería, como se ha descrito anteriormente.

En segundo lugar, y en relación con la calidad del agua, podrían diferenciarse numerosos factores que pueden plantear problemas a la hora de conseguir un ecosistema estable. Entre estos aspectos caben destacarse, por su mayor transcendencia y por imponer ciertas limitaciones, los que se desarrollan a continuación.

La no existencia de un tratamiento terciario completo en el proceso de depuración de aguas residuales determina la emisión de un efluente con una elevada concentración de sales (fosfatos y amonio principalmente). De entre estos parámetros químicos puede destacarse la concentración de fosfatos como factor limitante de la productividad primaria del agua, y consiguientemente, del crecimiento de la biomasa, ya que el nitrógeno y el carbono pueden fijarse directamente del N_2 y del CO_2 atmosféricos, de modo que el fósforo resulta ser la única limitación para la eutrofización del agua.

La demanda biológica de oxígeno es otro parámetro esencial a tener en cuenta, y es un factor limitante tanto del crecimiento de organismos aerobios como del poder autodepurador del agua.

Además de la DBO propia del agua de emisión cabe destacar, ante determinadas condiciones físico-químicas o/y ambientales, la DBO producida por la descomposición de la biomasa formada en el río, que puede ser aún más importante que la primera.

Otro parámetro importante, inherente a la calidad del agua, es la turbidez, asociada a las materias en suspensión, ya que determina la profundidad máxima de penetración de la luz y, por tanto, del crecimiento y establecimiento de algas y vegetales superiores en el lecho del río. Asimismo, un aumento en la turbidez puede provocar la muerte de la biomasa autótrofa si la luz no tuviera acceso a la misma, con el consiguiente incremento de DBO.

Los sólidos en suspensión, además de incrementar la turbidez, al sedimentarse producen un lecho inestable poco apropiado para el crecimiento de algas, y macrofitas y, por el contrario, muy favorable para el desarrollo de organismos anaerobios.

Un aspecto parcial de los efectos de los sólidos en suspensión, lo constituye la proporción de materia orgánica que posean. Esta materia orgánica se descompone por la acción de una serie de microorganismos aerobios, es decir, consumidores de oxígeno, y, por tanto, generadores de DBO.

En el caso del río Manzanares las oscilaciones en la calidad del agua pueden tener una incidencia especialmente acusada, y esto es debido a la diversidad de efluentes que se vierten, o pueden ser vertidos ocasionalmente, al cauce del río. El conjunto de estas aportaciones, según su origen, es el siguiente:

- Vertido de la Depuradora de Viveros de fangos activos.
- Vertido la Depuradora de Viveros de lechos bacterianos.
- Agua procedente del embalse de El Pardo.
- Aguas pluviales.
- Vertidos a través de los aliviaderos de los colectores.

Los dos primeros vertidos, es decir, los procedentes de la Depuradora de Viveros, tanto de fangos activos como de lechos bacterianos, suponen cerca del 90 por 100 de la aportación al caudal del río de forma casi constante.

Debido a que el efluente de la Depuradora de Viveros está sujeto a riguroso control a través de una serie de análisis diarios, la problemática derivada del vertido al río de agua en condiciones inadecuadas queda prácticamente obviada.

Respecto a las aguas provenientes del embalse de El Pardo, dada su procedencia, puede decirse que su calidad es óptima, aunque por la escasa regularidad en su aportación al caudal del río su importancia es sólo relativa. En cualquier caso, en un momento dado, puede servir para facilitar la dilución del agua tratada o de cualquier otro tipo de vertido no controlado.

La aportación de las aguas pluviales al caudal del río Manzanares es, obviamente, irregular e imprevisible. Este tipo de aportación no tendría que suponer ningún problema, pero lo supone al ir asociado al vertido de los aliviaderos de los colectores que, en condiciones normales, no se produce. Este tipo de vertidos sí puede suponer un inconveniente para el ecosistema, ya que introduce una variación súbita de la calidad del agua, al arrastrarse con el agua de lluvia pequeñas proporciones de aguas residuales.

A medida que avanzaba el conjunto de los trabajos, a que se ha hecho referencia en los apartados anteriores, se disponía de una información más precisa acerca del funcionamiento del río Manzanares en el sentido más amplio: hidrología, regulación por las presas, calidad de los vertidos de aguas residuales tratadas, vertidos de aguas pluviales, etc. Todo ello permitía abordar el tema central del Plan de Recuperación Ecoló-

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Aspectos del río antes de las obras

gica del río Manzanares, es decir, la posibilidad de la presencia de vida acuática en el río de forma permanente.

El marco general en el que se han encuadrado los trabajos de repoblación del río pueden resumirse en dos ideas básicas: por un lado, la trascendencia que desde un punto de vista estético y de aceptación ciudadana presenta el cauce del río, y por otro, la imposibilidad de abordar a corto plazo medidas que supongan costos adicionales como serían tratamientos terciarios en la Depuradora de Viveros, aportes adicionales de agua al cauce del río para facilitar la dilución, etc.

Habida cuenta de la influencia que presenta la cuenca, en su conjunto, en la vida acuática, se procedió a realizar un primer análisis global de la cuenca del río Manzanares, que puso de manifiesto la existencia de cuatro zonas perfectamente diferenciadas que requerirán tratamientos específicos de muy diverso alcance. Estas cuatro zonas a considerar son:

- Desde su nacimiento en La Maliciosa hasta el embalse de El Pardo, que incluye también el embalse de Santillana.
- Desde el embalse de El Pardo hasta la Depuradora de Viveros.
- Desde la Depuradora de Viveros hasta la Depuradora de La China, que es el río urbano propiamente dicho.
- Desde la Depuradora de La China hasta su desembocadura en el río Jarama.

La zona de trabajo acotada para esta fase del Plan de Recuperación Ecológica del río Manzanares ha sido la tercera de las indicadas, es decir, el cauce urbano desde la Depuradora de Viveros hasta el cruce con la M-30.

La segunda de las etapas, que comprende un plazo más largo (cuatro-cinco años), establecería mediante los estudios adecuados un programa para la recuperación ecológica integral del río Manzanares, en donde se estudiaría el tipo de ecosistema final a conseguir y se determinaría paulatinamente el conjunto de especies vegetales y animales que lo compondrían.

Los objetivos de esta primera etapa fueron básicamente dos:

a) *Determinación de las especies piscícolas que potencialmente pudieran habitar las aguas del río Manzanares*

Tal como se indicó anteriormente, existe una serie de especies potenciales que podrían utilizarse «a priori», dadas sus características de resistencia a condiciones ambientales adversas (bajo nivel de oxígeno disuelto, altos índices de sólidos en suspensión y nitrógeno amoniacal, etc.). Del conjunto de estas especies se seleccionarían para la experimentación el mayor número posible, en función de la facilidad para su obtención y de las que fuesen autóctonas o estuviesen introducidas en la zona.

En las instalaciones construidas con este fin se intentaría reproducir, dentro de lo posible, las condiciones existentes en el río en cuanto a la calidad del agua, empleando para ello el agua tratada procedente de la Depuradora de Viveros, que representa casi el 90 por 100 del caudal que circula por el Manzanares en su tramo urbano.

Estas experiencias planteadas a corto plazo se centrarían exclusivamente en obsservar la supervivencia de las especies, sin entrar en la problemática de su posible reproducción en el río, que sería objeto de un estudio posterior a más largo plazo. La supervivencia se estudiaría tanto en lo que respecta a la toxicidad de posibles contaminantes, como a la aparición de enfermedades infecciosas.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

b) *Determinación de las condiciones mínimas de calidad del agua tratada*

Una vez determinadas las especies potencialmente idóneas para la repoblación del río, sería preciso averiguar qué condiciones mínimas debería reunir el agua tratada para asegurar la supervivencia de los peces.

Esto es importante, ya que la calidad del agua tratada varía en función del tiempo y puede haber momentos en que se alcancen unos niveles de contaminación peligrosos para la vida acuática. Los estudios de supervivencia y toxicidad proporcionarían unos grados en la calidad del agua que no podrían sobrepasarse si no se quiere comprometer la existencia de peces de forma continuada.

Dado que el principal problema que presenta en una primera aproximación el agua tratada es el alto nivel de nitrógeno amoniacal, se vigilará especialmente este parámetro, determinando cuáles son sus valores máximos admisibles, en función, principalmente, del pH y la temperatura, que son los factores que afectan a su toxicidad.

8. DESARROLLO DE LA PRIMERA ETAPA

Una vez definido el objetivo primordial de esta primera etapa y en coordinación con el plan de puesta a punto y de operación de la Depuradora de Viveros, se estableció la necesidad de acotar de forma inminente las concentraciones de los parámetros químicos que, como el caso del nitrógeno amoniacal, afectaran negativamente a la población piscícola al objeto de tenerlos presentes en el manejo de los caudales procedentes de las depuradoras y de los colectores.

Para la consecución de los objetivos antes citados se ha considerado imprescindible el planteamiento de una serie de experiencias en condiciones reales con respecto a la tolerancia y adaptación de una serie de especies piscícolas a los efluentes de depuración secundario procedente de la Depuradora de Viveros, que formará el 90 por 100 del caudal del río Manzanares a su paso por Madrid. En este sentido se ha diseñado una instalación que se ha ubicado, al objeto de reducir costes, en una zona no utilizada del edificio de filtros de lodos de la antigua depuradora.

Instalaciones

La instalación consta de una serie de tanques y acuarios distribuidos en tres zonas con funciones bien diferenciadas:

1. Tanques de mantenimiento: cuatro de dos metros cúbicos de capacidad destinados a recibir los ejemplares de peces que provienen de pescas realizadas en ríos y embalses de la zona al objeto de aclimatarlos al pienso artificial y a las condiciones de cautividad y que más tarde serán empleados en las experiencias.
2. Ensayos de toxicidad: 28 acuarios de 40 litros y cuatro tanques de un metro cúbico destinados a los tests de toxicidad de contaminantes específicos.
3. Ensayos de supervivencia: 10 tanques de mezcla y 20 acuarios de 100 litros destinados a comprobar las posibilidades de supervivencia de las distintas especies en función de calidad del efluente y de otros parámetros como temperatura del agua, tamaño del pez, etcétera.

Patos adaptándose en la EDAR de Viveros.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Presa número 5.

A lo largo del mes de mayo de 1984 se realizó el montaje de la instalación de bioensayos y demás obras de acondicionamiento.

El tipo de materiales empleados, así como el diseño, responde a las especificaciones aplicables a este tipo de instalaciones; sin embargo, debido a la premura con que debía realizarse la obra y los plazos de entrega dados por los suministradores del material, ha sido necesario adaptar algunos aspectos de la instalación a lo disponible en el mercado en forma de entrega inmediata.

A modo de resumen señalaremos seguidamente las características principales de la instalación:

- Toma de agua tratada en una línea de servicio a tres atmósferas de presión.
- Toma de agua potable.
- Tanques de poliéster reforzado de dos metros cúbicos de capacidad para la regulación automática del suministro de agua residual a la instalación.
- Tanques de poliéster reforzado de dos metros cúbicos de capacidad para la regulación automática del suministro de agua potable y sistema de decloración de la misma.
- Sistema de suministro de aire a toda la instalación mediante soplante y línea de distribución en PVC.
- Línea de suministro de agua residual, con válvulas de regulación individualizadas para cada uno de los acuarios y tanques.
- Línea de suministro de agua potable declorada, con válvulas de regulación individualizada para cada uno de los acuarios y tanques.
- Sistema para la decloración automática de todo el caudal de agua potable.
- Zona de recepción de peces, compuesta por cuatro tanques de poliéster reforzado de dos metros cúbicos de capacidad cada uno.
- Zona de ensayos de supervivencia, compuesta por 10 tanques de mezcla de 50 litros de capacidad y 20 acuarios de vidrio de 100 litros de capacidad cada uno.
- Zona de ensayos de toxicidad, compuesta por cuatro tanques de un metro cúbico de capacidad para cada uno y 28 acuarios de 40 litros.
- Despacho-laboratorio de unos 30 metros cuadrados de superficie.

9. PLANEAMIENTO DE LA SEGUNDA ETAPA

Tras esta primera etapa de trabajos en la que se ha puesto de manifiesto la posibilidad de conseguir de manera permanente unas condiciones mínimas de calidad de agua en el río, que permite la vida acuática, se abordará una segunda etapa de estudios de mayor profundidad y a más largo plazo (cuatro - cinco años), cuyo objetivo será determinar las posibilidades reales de mejorar el conjunto del ecosistema fluvial, enriqueciéndolo con un mayor número de especies.

Estos trabajos se enmarcarán en áreas diferentes que pueden ser resumidas en las siguientes:

a) Estudio de la evolución del río en sus aspectos físico - químicos mediante la toma de muestras y análisis de los parámetros más significativos.

b) Muestreos biológicos periódicos a los efectos de determinación de índices bióticos y evolución de la biomasa del río.

c) Control de la evolución de la productividad biológica e impacto sobre la ictiofauna del río.

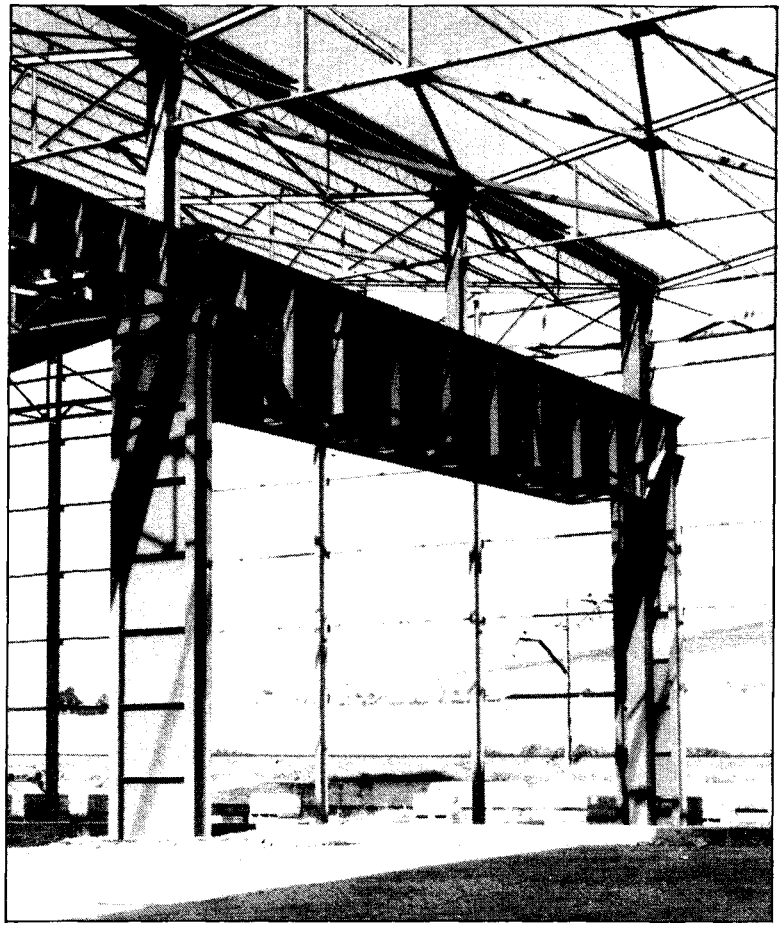
d) Seguimiento de las especies piscícolas introducidas en todos los aspectos que se refieren a:
   * Morbilidad, mortandad y estado sanitario.
   * Crecimiento, nutrición y reproducción.
   * Distribución de la población y migraciones.

e) Establecimiento de planes de alimentación de la población piscícola, así como una sistemática de control sanitario preventivo y curativo.

f) Estudios para la introducción de nuevas poblaciones y viabilidad de adaptación de nuevas especies.

* * *

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



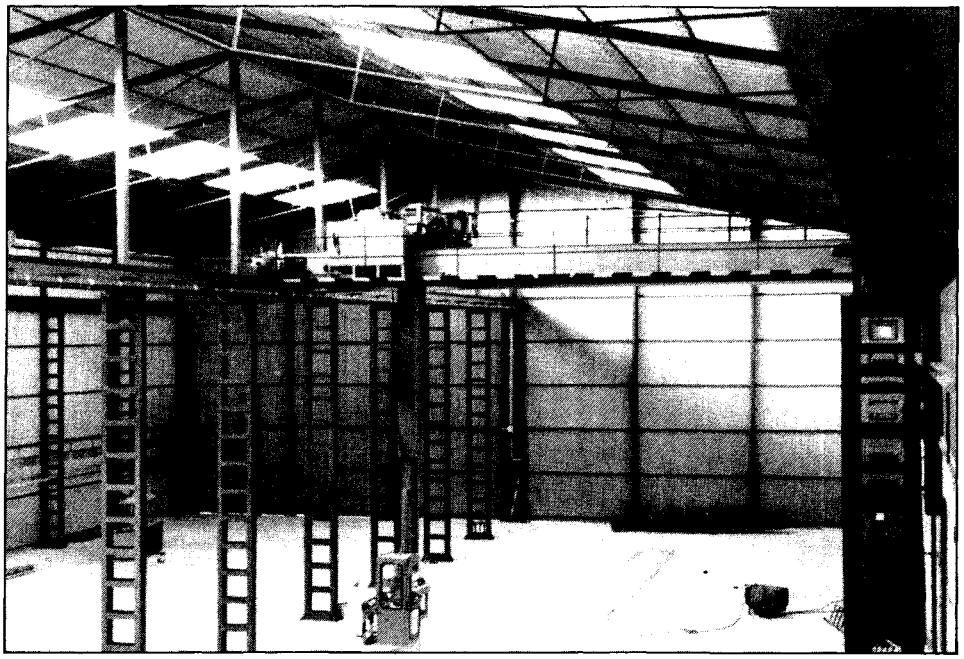
ESTRUCTURAS METALICAS

ESTUDIOS PREVIOS
PROYECTOS
CONSTRUCCIONES

NAVES MODERNAS, FUNCIONALES Y ECONOMICAS PARA LOS SECTORES AGRICOLA, GANADERO, INDUSTRIAL Y COMERCIAL

DISEÑOS OPTIMIZADOS DE AVANZADA TECNOLOGIA EN EL ASPECTO ESTRUCTURAL, CUBRIENDO TODO TIPO DE EDIFICACIONES

GARANTIA Y PRESTIGIO AVALADOS POR 40 AÑOS DE SERVICIO EN TODA ESPAÑA



MANUEL MARTORELL NAVAS

Polígono Industrial de Chinales, parcela 1-B - Teléfono: (957) 27 28 15

14007 CORDOBA

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

SIQUIS

SERVICIO DE INFORMACION QUIMICA SELECTIVA

Este servicio de información, pensado para Químicos, Ingenieros, Biólogos, Bioquímicos..., para todos los profesionales que cultivan cualquiera de las especialidades químicas, está basado en los "Chemical Abstracts", la fuente secundaria de información química más importante del mundo.

*El Servicio **SIQUIS** le proporcionará quincenalmente, mediante ordenador, listados personalizados de referencias bibliográficas de todos los trabajos que van apareciendo en los "Chemical Abstracts". La utilización del Servicio **SIQUIS** es muy sencilla: Vd. comunica al ICYT el tema de su interés y expertos muy cualificados elaboran un perfil de búsqueda bibliográfica **a su medida;** de esta forma Vd. no perderá su tiempo tratando de hallar penosamente la información que necesita a través de publicaciones secundarias.*

*Suscríbase. Estará **mejor y más informado** que nunca.*

GRUPOS DE CONSULTA

- *Bioquímica.*
- *Química orgánica.*
- *Química macromolecular.*
- *Química aplicada e ingeniería química.*
- *Química física y química analítica.*

TARIFAS ESPECIALES

- *Suscripción anual a un perfil. 16.000 Pts. (primer trimestre gratuito).*
- *Suscripción de dos o más perfiles al año: descuento del 10% a partir del segundo.*
- *Organismos dependientes del Ministerio de Educación y Ciencia: descuento del 40%.*

ICYT

INSTITUTO DE INFORMACION
Y DOCUMENTACION EN CIENCIA
Y TECNOLOGIA

C/. Joaquín Costa, 22 - 28002 MADRID - Telf. (91) 261 48 08 - Telex 22628 CIDMD E

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es