Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo

CEDEX

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

ESTUDIO EN MODELO REDUCIDO DEL ENCAUZAMIENTO DEL RIO GUADALMEDINA

INFORME FINAL

TOMO UNICO

Para

DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS

Confederación Hidrográfica del Sur

CLAVE CEDEX-41-430-1-017

Madrid, Abril 1990

Centro de Estudios Hidrográficos

CEDEX

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo

TITULO:

ESTUDIO EN MODELO REDUCIDO DEL ENCAUZAMIENTO DEL RIO GUADALMEDINA

INFORME FINAL

CLIENTE:

DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS

Confederación Hidrográfica del Sur

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TECNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLAUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACION CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR LA EMISION DEL PRESENTE INFORME.

V.I. RESOLVERA

EL DIRECTOR DEL
CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS

Autorizada la emisión del informe:

Madrid, de de 19

El Director General del CEDEX.

SOLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACION DE OBRAS PUBLICAS LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCION GENERAL.

INDICE

INDICE

MEMORIA

Página

1. ANTECEDENTES 1

2. LA ZONA EN ESTUDIO 3

2.1. Primer tramo 3

2.2. Segundo tramo 5

2.3. Tercer tramo 6

3. EL MODELO 7

4. SOLUCION PROYECTO 9

4.1. Ensayos 9

4.1.1. Tramo entre los perfiles P-18 y P-28. 9

4.1.2. Tramo entre los puentes de La Aurora y de Armiñán 10

4.1.3. Tramo aguas arriba del Puente de Armiñán 12

4.2. Conclusiones 14

4.2.1. Tramo entre los perfiles P-18 y P-28 14

4.2.2. Tramo entre los puentes de La Aurora y de Armiñán 15

4.2.3. Tramo aguas arriba del puente de Armiñán 15

5. SOLUCION PROPUESTA 16

5.1. Definición 16

5.1.1. Tramo entre los perfiles P-18 y P-28 16

5.1.2. Tramo entre los puentes de La Aurora y de Armiñán 17

5.1.3. Tramo aguas arriba del puente de Armiñán 18

5.2. Ensayos 19

5.2.1. Tramo entre los perfiles P-18 y P-28 19

5.2.2. Tramo entre los puentes de La Aurora y de Armiñán 21

5.2.3. Tramo aguas arriba del puente de Armiñán 23

5.3. Conclusiones 25

5.3.1. Tramo entre los perfiles P-18 y P-28 25

5.3.2. Tramo entre los puentes de La Aurora y de Armiñán 26

5.3.3. Tramo aguas arriba del puente de Armiñán 27

6. CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES 29

FOTOGRAFIAS

GRAFICOS

1. LAMINAS DE AGUA P-18 A P-28. SOLUCION PROYECTO
2. LAMINAS DE AGUA P-18 A PK 1891. SOLUCION PROPUESTA

3. HIDROGRAMA 600 M3/SEG.

4. CURVA GRANULOMETRICA DEL RIO

5. LAMINAS DE AGUA Y EVOLUCION DE FONDOS. M-25 A M-39

PLANOS

1. PLANTA GENERAL. P-18 A P-28. SOLUCION PROYECTO
2. PLANTA GENERAL. P-28 A M-29. SOLUCION PROYECTO
3. PLANTA GENERAL. M-30 A M-41. SOLUCION PROYECTO
4. PERFIL LONGITUDINAL. P-18 A PK.1791. SOLUCION PROYECTO
5. PLANTA GENERAL. P-18 A P-28. SOLUCION PROPUESTA
6. PLANTA GENERAL. P-28 A M-29. SOLUCION PROPUESTA
7. PERFIL LONGITUDINAL. P-18 A PK 1891. SOLUCION PROPUESTA

MEMORIA

INFORME FINAL SOBRE EL ESTUDIO EN MODELO REDUCIDO DEL ENCAUZAMIENTO DEL RIO GUADALMEDINA.

1. ANTECEDENTES

La Dirección General de Obras Hidráulicas y el CEDEX tienen subscrito un Convenio para efectuar por el Laboratorio de Hidráulica del C.E.H. los estudios y ensayos en modelo físico tridimensional del encauzamiento del Río Guadalmedina.

En Octubre de 1989 se emite un Informe Parcial sobre la primera fase del proyecto presentado por el Excmo. Ayuntamiento de Málaga titulado "Informe Parcial 1 sobre el estudio en modelo reducido del encauzamiento del río Guadalmedina". En él se dan los resultados finales de los ensayos de los últimos 850 m. de encauzamiento que se desarrollan desde el puente de Tetuán hasta el mar, por lo cual no se considera adecuado reiterarlo en el presente Informe Final.

Una vez concluidos los ensayos en modelo del tramo comprendido entre los P.K. 850 y P.K. 3000, está estudiado la totalidad del tramo incluido en el Convenio entre la Dirección General de Obras Hidráulicas y el CEDEX.

Como consecuencia de dicho Convenio, y con el fin de poner en

conocimiento de la Confederación Hidrográfica del Sur las principales conclusiones obtenidas de los estudios y ensayos realizados, se redacta el presente "Informe Final sobre el estudio en modelo reducido del encauzamiento del rìo Guadalmedina" que unido al "Informe Parcial 1 sobre el estudio en modelo reducido del encauzamiento del río Guadalmedina", componen la documentación final presentada por el CEDEX, sobre este estudio.

EQUIPO ENCARGADO DEL ESTUDIO

Víctor Elviro García. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Juan Antonio Berges Acedo. Ingeniero Técnico de Obras

José Luis García Ramos. Ingeniero de Telecomunicaciones

Rafael López Ligar. I.T. de Telecomunicaciones.

2. LA ZONA EN ESTUDIO

En este Informe se analiza el comportamiento de la zona comprendida entre el perfil 18 y la primera cadena existente aguas arriba del puente de la Rosaleda para caudal máximo de 600 m3/seg. Dicha zona se considera a su vez dividida, en virtud de sus características, en tres tramos.

2.1. Primer tramo

En el primer tramo de encauzamiento, comprendido entre los perfiles 18 y 28, se modifica el trazado actual en planta del río y se dispone al mismo tiempo un estrechamiento de la sección.

La solera del encauzamiento es de hormigón presentando variedad de formas a lo largo del mismo.

El plano nº 1 representa la planta general de la zona y el nº 4 el perfil longitudinal. Como puede apreciarse es un conjunto de saltos, estanques y zonas de paseo donde evidentemente los aspectos arquitectónicos y lúdicos han primado sobre los hidráulicos.

De esta Solución Proyecto se suprimieron antes de comenzar

los ensayos los puentes de Souvirón y Cisneros quedando los siguientes:

- Atarazanas, puente actualmente en proyecto, se apoya sobre dos grupos de pilares normales al puente de 0,60x1,80 m. truncados los vértices. El tablero tiene su parte inferior a la cota 5,75.

- Santo Domingo, pasarela metálica con apoyo en los cajeros, actualmente construída, que se traslada en el proyecto hacia aguas arriba, fijándose el tablero, para los ensayos, a la cota 7,40 y no a la 6,75 que figura en el plano nº 1 como cota superior del tablero.

- Puente de la Aurora, puente con arco actualmente construido y que se mantiene en proyecto, tiene los estribos a la cota 7,36 y la clave a la 9,66.

Conviene aquí hacer notar ciertas discrepancias existentes entre el plano nº 1 y la planta general enviada en el Informe Parcial 1 por este Laboratorio a la Confederación Hidrográfica del Sur, en concordancia, esta última con los planos anteriormente suministrados por el Ayuntamiento de Málaga. Mientras que el P-19 coincide en todos los planos con el Puente Atarazanas, la sección en el P-18 implica que

la plataforma se traslada unos ocho metros hacia aguas arriba, (ver plano nº 5). Asimismo el puente de Tetuan dibujado en el plano nº 1 no es el actualmente construido y que es objeto del ensayo (ver plano nº 5), entendiendo este Laboratorio que el Ayuntamiento desechó en su día la modificación del mismo.

Dada la concepción del tramo es de suponer que el funcionamiento hidráulico no sea uniforme, presentando ondas en la superficie e irregularidades en la distribución del flujo. En todo caso, lo que en modo alguno se podrá admitir son desbordamientos ni puestas en carga de los puentes ni siquiera de forma parcial.

2.2. Segundo tramo

Un segundo tramo, comprendido entre los puentes de la Aurora y Armiñán representa la zona de transición entre la zona urbana de aguas abajo y el cauce natural de aguas arriba.

Este segundo tramo se caracteriza por disponer de una trampa de áridos capaz de retener todo el árido arrastrado por el río y sus afluentes aguas arriba del puente de Armiñán hasta la presa del Limonero.

La Solución Proyecto está definida en planta en la Hoja de

Planos nº 2 y el perfil longitudinal en la Hoja de Planos nº 4. Supone un estrechamiento de la sección entre los perfiles 27 a 37, al mismo tiempo que se fija el lecho del río. La trampa de áridos está situada aguas arriba del P-33.

En el P.K. 1481 se proyecta el Puente de la Trinidad sin pilas intermedias y cota inferior de tablero la 10,0.

2.3. Tercer tramo

El tercer tramo está comprendido entre el Puente de Armiñán y la primera cadena existente aguas arriba del puente de la Rosaleda. Representa al río en su estado actual y en él, además de los puentes citados, se situa en la margen derecha e inmediatamente aguas arriba del puente de Armiñán, la desembocadura del Arroyo de los Angeles.

Según los datos proporcionados por el peticionario, el hidrograma afluyente a este tramo tiene un caudal punta de 600 m3/seg., estando representado en el gráfico nº 3. No se analiza la influencia del flujo procedente del arroyo de los Angeles.

Este tramo se supone de lecho móvil, estando formado el lecho del río por un árido representado en la curva granulométrica dibujada en el gráfico nº 4.

3. EL MODELO

Se utiliza el modelo construído en la nave del Laboratorio de Hidráulica con escala horizontal 1/75 y vertical 1/50, adoptando como criterio de representatividad la semejanza de Froude. El estudio se realiza analizando el comportamiento del encauzamiento por tramos, ya que estos se encuentran separados por azudes que independizan el regimen aguas arriba y aguas abajo de los mismos.

Contemplando el encauzamiento desde aguas abajo hacia aguas arriba, se considera lecho fijo hasta la trampa de áridos (P-18 a P-33), no utilizándose aportación sólida para el ensayo de este tramo ya que la misma se supone que es retenida aguas arriba por el decantador de árido. Es importante resaltar este punto, ya que la existencia de aportación sólida en modelo implica una modificación de las condiciones hidráulicas del tramo, que se traduce en una elevación de los niveles fundamentalmente en la zona del puente de Atarazanas.

Los ensayos se realizan para caudales de 100,200, 400 y 600 m3/seg.

Para la medida de niveles se disponen limnígrafos rápidamente variables conectados con un ordenador central. Dichos limnígrafos están situados en los perfiles 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 y 33.

Para el estudio desde la trampa de áridos hasta el comienzo del modelo, éste se construye de lecho móvil con distorsión de material. Tanto el lecho como la aportación sólida se simulan con carbón de densidad 1,75 Tn/m3, representando a escala la curva granulométrica del río reflejada en el gráfico nº 4.

Para el análisis del comportamiento hidráulico se reproduce, mediante un partidor, la avenida de 600 m3/seg., cuyo hidrograma está representado en el gráfico nº 4, distorsionando el tiempo según la escala de tiempos sedimentológicos.

La medida de fondos se realiza con peines móviles, según los perfiles transversales reflejados en el gráfico nº 5.

Los niveles se registran con ordenador, utilizando para la lectura limnígrafos situado en los perfiles P-34, 35, 36 y 37 así como en las secciones M-25, 26, 28, 30, 32, 34, 35, 37, 38 y 39.

4. SOLUCION PROYECTO

4.1. Ensayos

4.1.1. Tramo entre los perfiles P-18 y P-28

La solución ensayada está representada básicamente en los planos nº 1 y 4 reproduciendo en modelo la obra con las modificaciones comentadas en el punto 2 (Puente de Tetuán y P-18). Ver fotografías 1 a 6.

El gráfico nº 1 representa los niveles alcanzados por el agua para cada uno de los caudales de ensayo.

Para 100 y 200 m3/seg. el comportamiento hidráulico es plenamente satisfactorio. El tramo está en general régimen lento actuando los azudes como punto de paso a régimen rápido, produciendo los resaltos a su pie pequeñas ondulaciones que se trasladan aguas abajo de los mismos.

Para 400 m3/seg. los azudes no ejercen una acción de frenado tan intensa, presentándose un flujo mas uniforme al no

aparecer zonas diferenciadas claras de régimen lento y régimen rápido. Se producen ondas importantes que no llegan a afectar ni al puente de Santo Domingo ni al de Atarazanas.

Para 600 m3/seg. el flujo es similar en su forma al de 400 m3/seg. pero las ondas son cuantitativamente mas importantes. En el puente de Santo Domingo hay una onda central que de forma esporádica puede llegar a tocar el puente. El puente de Atarazanas se ve afectado por una onda permanente que afecta a la zona de las pilas de la margen izquierda poniéndola en carga pero que no afecta al resto del puente aunque por muy poco margen. Ver fotografías 9 a 12.

Con los cajeros representados en modelo, definidos en la hoja de planos nº 4, no se producen desbordamientos en ningún punto, con resguardos que oscilan entre 60 cm. en la zona del puente de Atarazanas y más de 2 m. aguas arriba del puente de Santo Domingo.

4.1.2 Tramo entre los puente de la Aurora y de Armiñán.

La solución ensayada está representada en los planos nº 2 y 4. El tramo está caracterizado por la trampa de áridos y por el estrechamiento en planta entre los perfiles 28 y 33. Ver fotografías 6 y 7.

La función de la trampa de áridos es retener el material arrastrado por el río procedente del propio cauce y de su cuenca vertiente situada aguas arriba de la trampa. En función de las condiciones del flujo dentro de la trampa se retendrá material de mayor o menor tamaño, pero, en general, no es posible retener todo el material y prácticamente no se retiene el transportado en suspensión.

Al proyectar la obra situada aguas abajo se supuso la retención de todo el material de arrastre, comprobándose en modelo que, en efecto, el paso de material es perjudicial para el funcionamiento hidráulico de dicha obra, además del coste de mantenimiento que ello supondría. Por lo tanto, la trampa debe dimensionarse con suficiente generosidad, unido a un mantenimiento periódico de la misma.

La denominada Solución Proyecto es un primer tanteo encaminado fundamentalmente a la ubicación en planta de la misma.

Los ensayos realizados de esta solución muestran que las dimensiones de la trampa no producen una reducción suficiente de la velocidad del flujo, y que, por lo tanto, la capacidad de retención de material es escasa, siendo necesario ampliar la capacidad de la misma.

Fue necesario estimar el volumen arrastrado en una avenida de 600 m3/seg, que, entre otros factores, es función del estado en que se encuentren las obras de retención de material actualmente existentes así como de las obras a realizar en el futuro.

En reuniones mantenidas con los técnicos de la Confederación Hidrográfica del Sur y con el Ayuntamiento de Málaga se fijó, como orden de magnitud, en 15.000 m3 el volúmen de material retenido por la trampa en la avenida de diseño, y se acordó que una vez almacenado este volúmen, la balsa siguiese teniendo una cierta capacidad de retención, lo que implicaba una capacidad total de la trampa de unos 25.000 m3, para que una vez retenido aquel material las condiciones del flujo dentro de la misma fuesen estables cara a no permitir la salida del material aportado.

En esta etapa no se tomaron datos sobre el comportamiento del tramo entre el salto del P-27 y el P-33 ya que el flujo está condicionado por la trampa de áridos.

4.1.3. Tramo aguas arriba del Puente de Armiñán.

Este tramo, como ya se ha comentado, corresponde al río en su estado actual, ver plano nº 3, gráfico nº 5 y fotografías 7 y 8.

La Confederación Hidrográfica del Sur tiene prevista una actuación en el sentido de proteger los cajeros de este tramo.

Dado que el modelo en este tramo es de lecho móvil, el Laboratorio de Hidráulica ha estudiado la evolución de fondos y los niveles ante distintas hipótesis de aportación sólida. Al mismo tiempo se pretende evaluar la aportación sólida en arrastre procedente del cauce que incide sobre la trampa de áridos.

En el modelo se reproduce la geometría del entronque del Arroyo de los Angeles, pero en los ensayos no se ha tenido en cuenta la influencia que pueda tener el caudal aportado por éste en la zona de la confluencia.

Analizando el comportamiento del río en su estado actual se observa un fenómeno de fuerte erosión localizada en la margen izquierda aguas arriba del Puente de Armiñán que afecta claramente al estribo de éste.

También conviene llamar la atención sobre la zona inmediatamente aguas arriba del entronque del Arroyo de los Angeles donde no existe cajero.

No se analiza el estado actual de los cajeros reproduciéndose en modelo los cajeros representados en el gráfico nº 5.

4.2. Conclusiones

4.2.1 Tramo entre los perfiles P-18 a P-28

Para los caudales estudiados y sin aportación sólida no se producen desbordamientos laterales en ningún punto de este tramo.

La configuración en planta de curva y contracurva unida a la disposición de los azudes hace que se produzcan, para los mayores caudales, ondas de gran tamaño que pueden llegar a tocar el puente de Santo Domingo puntualmente en la zona central, aunque en general tiene un resguardo, para el máximo caudal, de 2 m. Estas ondas afectan de forma permanente al puente de Atarazanas en la zona de las pilas de la margen izquierda, presentando el resto del puente un resguardo muy pequeño. Se considera necesario disminuir la magnitud de estas ondas evitando que el agua alcance al puente, y para ello, dado que la cota del puente permanece fija así como la planta, se actuará introduciendo modificaciones en solera de acuerdo con el proyectista.

4.2.2 Tramo entre los puentes de la Aurora y de Armiñán

La ubicación en planta de la trampa de áridos parece la mas correcta, pero, ante la falta de capacidad de la misma, se acuerda ampliarla aumentando su profundidad y desplazando su comienzo hacia aguas arriba.

De acuerdo con los técnicos de la Confederación Hidrográfica del Sur y del Ayuntamiento de Málaga se determina para la misma una capacidad de 25.000 m3.

4.2.3. Tramo aguas arriba del puente de Armiñán.

El comportamiento general del río se describirá al comentar la Solución Propuesta.

No se analiza la posible influencia del flujo procedente del Arroyo de los Angeles, considerando necesario que el peticionario estudie el posible desbordamiento que pueda originar la falta del cajero aguas arriba del mismo.

La actual configuración del cajero aguas arriba del estribo izquierdo del puente de Armiñán produce fuertes erosiones localizadas en dicha zona, por lo que se juzga conveniente la modificación del mismo. Ver fotografías 13 y 14.

5. SOLUCION PROPUESTA

5.1. Definición.

5.1.1. Tramo entre los perfiles P-18 y P-28.

La Solución Propuesta está representada básicamente en los planos nº 5 y 7 así como en el gráfico nº 2 y fotografías 15 a 18.

Las principales modificaciones introducidas son:

- Entre los perfiles 18 y 21 se modifica el trazado en planta de la margen izquierda del estanque.

- El azud situado en el PK 989 se situa ligeramente aguas arriba cambiando su dirección.

- Se suprimen los quiebros del cajero izquierdo entre los perfiles 19 y 21.

- Se introducen cuatro dientes laterales, adosados al cajero izquierdo entre los perfiles 21 y 24.

- Se modifica la forma de los cajeros del estanque entre los perfiles 21 y 24, suprimiendo el dentado del mismo.

El trazado en planta del encauzamiento es un invariante del proyecto, prácticamente al igual que la cota del puente de Atarazanas.

5.1.2. Tramo entre los puentes de la Aurora y de Armiñán.

De acuerdo con el proyectista se procede a redefinir este tramo tal y como figura en los planos 5, 6 y 7.

Entre el P.K. 1315 y el P-33 se define un lecho de hormigón en dos tramos, uno de transición desde el P.K. 1337 con el fondo plano hasta el P-29, donde empieza el segundo tramo teniendo el lecho una sección uniforme en V, con una diferencia de cota entre el eje y los estribos de 30 cm. La cota del eje en el P-29 es la 4,80 y en el P-33 la 5,15.

En el P-33 se sitúa un azud de hormigón coronado a la cota 7,10, estando la cota inferior del cuenco a la 4,75 y el umbral de salida a la 5,50. En esta estructura, que sirve de cierre a la trampa de áridos, se debe disponer de tubos de drenaje para evitar estancamientos en la trampa. Ver fotografías 19 y 20.

La trampa de áridos tiene la solera a la cota 5 y como inicio de la misma dispone de un cuenco de resalto de hormigón coronado a la cota 9,0, estando la solera del cuenco a la cota 4,80. A la salida del cuenco y dentro a la balsa debe disponerse de una protección de escollera que actuará durante la punta de la avenida, aunque de forma visible siempre estará cubierta por el árido retenido.

Aguas arriba también debe disponerse de una protección de escollera de 0,5 m. de diámetro

5.1.3. Tramo aguas arriba del puente de Armiñán

En las hojas de planos nº 3 y 6 se encuentra reflejada esta solución que prácticamente coincide con la Solución Proyecto. Ver fotografías 21 a 24.

Se modifica el cajero izquierdo aguas arriba del puente de Armiñán, de forma que, continuando con el cajero actual, se enrase con el estribo izquierdo del puente desapareciendo así la discontinuidad en planta actualmente existente.

La cadena de hormigón situada aguas arriba del puente de la Rosaleda produce una fuerte socavación a su salida. Es necesario, por tanto, o bien modificar la forma de la cadena

o bien disponer aguas abajo de una protección de escollera. En la solución ensayada se ha dispuesto de un manto de 15 m. de escollera de 80 cm. de diámetro colocada en la parte central a la cota 16 hasta llegar a los cajeros a la cota 17. Para protección de cajeros el manto de escollera se continua durante 25 m. con un ancho de 7,5 m, siendo el diámetro de esta escollera de 50 cm.

5.2. Ensayos

5.2.1. Tramo entre los perfiles P-18 y P-28

El gráfico nº 2 representa las láminas de agua para 100, 200, 400 y 600 m3/seg. obtenidas en modelo para esta solución.

Para 100 y 200 m3/seg. el comportamiento es similar al de la Solución Proyecto y se aprecian claramente los tres tramos en regimen lento y el efecto de los azudes.

En los 400 m3/seg. se observa, como en la solución anterior, que desaparecen ya las zonas diferenciadas de régimen lento y régimen rápido.

La forma en planta de curva y contracurva unida a los obstáculos que forman los azudes hace que se produzcan las

ondas observadas en la Solución Proyecto. Dado que no es posible eliminar estas ondas manteniendo la concepción del proyecto, se opta por aminorarlas actuando de dos maneras: una, modificando la disposición de los obstáculos, y otra introduciendo nuevos obstáculos que actuen distribuyendo el flujo a lo ancho del encauzamiento al mismo tiempo que produzcan ondas, que compensando a las anteriores den como resultado una reducción de la amplitud de las mismas. Esta compensación que se observa ya para 400 m3/seg. es notable para el caudal máximo, fundamentalmente en la zona del puente de Atarazanas donde el agua no llega a tocar el tablero. Ver fotografías 25 a 29.

Es importante recordar que los ensayos se realizan sin aportación sólida, en caso de que ésta existiese se modificaria la forma del fondo con lo cual el comportamiento de este tramo sería diferente.

Junto a las láminas de agua, en el mismo gráfico 2, se han representado las envolventes para el hidrograma de 600 m3/seg. en los dos cajeros, con el fin de poder evaluar la altura de los mismos. Las formas de estas últimas ponen de manifiesto lo anteriormente dicho en relación a la irregularidad del flujo, pero al mismo tiempo confirman la viabilidad de la solución adoptada.

5.2.2. Tramo entre los puentes de la Aurora y de Armiñán

Las láminas de aguas correspondientes a 100, 200, 400 y 600 m3/seg. estan representadas en el gráfico nº 2.

El tramo comprendido entre el P.K. 1315 y el P-33 tiene la solera de hormigón, por lo tanto, para un determinado caudal el calado depende de la rugosidad. En el modelo se ha reproducido lo que podría ser un hormigón poroso en prototipo con rugosidad de Manning entre 0,016 y 0,018.

Para 100 m3/seg. el flujo aguas abajo del azud es ondulado como consecuencia del resalto, ondas que se van amortiguando a medida que aumenta el caudal y que desaparecen totalmente para 400 m3/seg.

Para 600 m3/seg. la lámina de agua se ajusta mucho al borde del cajero en la zona comprendida entre los perfiles P-29 y P-30 por lo que para tener un mayor grado de garantía, sería conveniente elevar los cajeros en dicha zona.

La lámina de agua para este caudal incide en los estribos del puente de la Aurora no presentando ésto peligro de puesta en carga del mismo. Debido al ancho del tramo y dada la condición de régimen crítico aguas abajo, este hecho no puede ser evitado salvo que se proyecte todo el tramo en régimen

rápido, lo que implicaría un aumento notable de la velocidad del flujo que en principio no se estimó deseable. El Laboratorio considera que la Solución Proyecto presenta un comportamiento aceptable. Ver fotografías 29 a 31.

La trampa de áridos se ha ensayado con muy diferentes hipótesis de funcionamiento, con el fin de observar el flujo con diferentes grados de acumulación de material variando la cota del lecho de la plataforma. Dicho fondo se situó a cotas diferentes con valores que van desde la cota 4 a la 5,80. Al final se fijó la cota 5,0 que suponía un equilibrio entre el coste de la obra y las condiciones de funcionamiento para los previsibles grados de aterramiento.

Para la avenida de ensayo, estando la trampa libre de material, el árido se deposita en su mayor parte desde el resalto hasta el P-35 alcanzando la cota 7,10 aproximadamente. Ver fotografías 34 y 35.

Con estas hipótesis se puede decir que la lámina de agua para los diferentes caudales ensayados es la representada en el gráfico nº 2.

La trampa dispone de cuatro rampas de acceso para su limpieza periódica; ésto supone que debe existir una vigilancia permanente de la misma, vigilancia obligada tras el paso de

cualquier avenida que se presente, debiendo mantener las condiciones de proyecto para poder así retener todo el material aportado por un evento posterior.

En la estructura situada en el P-33 se debe disponer de un sistema lento de drenaje que deje la trampa libre de agua con el fin de poder acceder a la misma para su vigilancia y limpieza y al mismo tiempo no provocar elevaciones en el nivel freático.

5.2.3. Tramo aguas arriba del puente de Armiñán

Los ensayos de este tramo se realizan con la avenida de 600 m3/seg. cuyo hidrograma esta representado en el gráfico nº 3. Tanto el lecho del río, como la aportación sólida, se reproducen con carbón que simula la curva granulométrica dibujada en el gráfico nº 4.

Se efectuan ensayos con diversas hipótesis de aportación sólida. En el gráfico nº 5 se representan las láminas de agua y la evolución de fondos para dos condiciones de entrada de áridos: hidrograma sin aportación sólida e hidrograma con una aportación sólida al comienzo del modelo de 12.000 m3 de árido, que unido a las aportaciones de los arroyos intermedios, no considerados en el modelo, producirian un

volúmen de árido retenido en la trampa de unos 15.000 m3. Ver fotografías 32 y 33.

En estas hipótesis, y con los cajeros que figuran en el gráfico nº 5, el tramo no presenta ningún problema de capacidad hidráulica.

En la experimentación se observa un descenso generalizado, con matices, de los fondos del río, hecho natural si se tiene en cuenta que la presa del Limonero no permite el paso de aportación sólida lo que, a medida que transcurra el tiempo, supondrá un descenso mas acusado hasta llegar a un pendiente de equilibrio que estará en función, además de la aportación sólida que le llegue, de las obras de protección que se realicen en el cauce. Como muestran los ensayos, el descenso se producirá desde aguas arriba hacia aguas abajo y está intimamente relacionado con la aportación sólida.

En los perfiles transversales dibujados en el gráfico nº 5 el proyectista puede observar el estado final de los fondos tras el paso de un hidrograma lo que le permitirá tener unas cifras orientativas para dimensionar y situar las protecciones que estime oportunas de los cajeros en función de la cimentación de los mismos. Ver fotografía nº 36. No será posible efectuar el dimensionamiento definitivo de dichas protecciones en tanto y cuanto no se conozca la

tipología final del acondicionamiento del cauce aguas arriba del tramo.

En cualquier caso, estos gráficos representan movimientos generalizados de fondos, ahora bien, no hay que olvidar que en un río de estas características los caudales menores producen un meandreo que ataca de forma mas o menos indiscriminada a los cajeros pudiendo producir la ruina de los mismos de forma localizada. Una solución adecuada para evitar este peligro es la protección continua con escollera a lo largo de los mismos. Con ello se quiere decir que, de los gráficos que representan los movimientos generalizados, se pueden sacar conclusiones sobre la cota a la que debe disponerse el manto de escollera y el ancho del mismo, pero que esa información no es suficiente para eliminar la protección en aquellos tramos en los que no se observe un movimiento generalizado.

5.3. Conclusiones

5.3.1. Tramo entre los perfiles P-18 y P-28

La Solución Propuesta no introduce modificación alguna en el trazado en planta ya que éste es un invariante del proyecto. Por lo tanto, las modificaciones propuestas van encaminadas a reducir las perturbaciones del flujo producidas por los

obstáculos diseñados en el interior del encauzamiento. Con dichas modificaciones se consigue un funcionamiento aceptable para toda la gama de caudales siempre que se cumpla la hipótesis de ausencia de material de arrastre. Aunque la lámina de agua para 600 m3/seg. no llega a tocar el tablero del puente de Atarazanas, y pensando en la existencia de arrastres superficiales de troncos y maleza, el resguardo existente es escaso, por lo que al dimensionar los anclajes del tablero se debe tener en cuenta la posible existencia de impacto de estos materiales sobre el mismo.

5.3.2. Tramo entre los puentes de la Aurora y de Armiñán

Entre los P.K. 1315 y el P-33 la solera del encauzamiento se proyecta de hormigón. Con el perfil longitudinal adoptado y para 600 m3/seg. la lámina de agua incide sobre los laterales del puente de la Aurora, ahora bien, dada la disposición en arco del mismo no existen problemas de puesta en carga.

Entre los perfiles P-29 y P-30 el resguardo de los cajeros es escaso por lo que se aconseja aumentar la altura de los mismos.

La trampa de áridos presenta un comportamiento hidráulico satisfactorio teniendo capacidad para retener mas de 15.000 m3 de árido. Según los estudios realizados se estima que es

capaz de retener el material transportado por la avenida de 600 m3/seg., aun en el caso de existencia de árido procedente de anteriores avenidas de pequeña magnitud, siempre que éste no supere la cantidad de 5.000 m3.

En cualquier caso, se piensa que es razonable su dimensionamiento, pero que ante la aleatoriedad de los fenómenos hidrológicos, es necesario disponer de una vigilancia permanente del estado de la misma, de forma que se pueda mantener el mayor tiempo posible a plena capacidad de retención.

5.3.3 Tramo de aguas arriba del puente de Armiñán

La construcción de la presa del Limonero supone una modificación del solidrograma histórico que ha conformado la pendiente del tramo en estudio. Esta disminución del caudal sólido afectará de forma progresiva a lo largo del tiempo a la pendiente del lecho de este tramo del río hasta que alcance una pendiente de equilibrio que será menor que la actual.

Parece ser que la solución actual prevista por la Confederación Hidrográfica del Sur se encamina a una protección contínua con escollera de los cajeros. En este sentido los resultados de los ensayos realizados por el

Laboratorio de Hidráulica le serán de gran utilidad para dimensionar el tamaño de la protección así como la cota a la que debe ser colocada.

6. CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES

El presente informe describe los trabajos efectuados relativos al encauzamiento del río Guadalmedina entre el punto kilométrico 850 y el 3000, de acuerdo con el Convenio suscrito entre la Dirección General de Obras Hidráulicas y el CEDEX, titulado "Ensayo en modelo reducido del encauzamiento del río Guadalmedina". De los estudios realizados así como de los trabajos y ensayos efectuados se obtienen las conclusiones y recomendaciones que a continuación se exponen:

1) El Convenio suscrito entre la D.G.O.H. y el CEDEX comprende el estudio de los últimos 3000 m. del río Guadalmedina según el proyecto realizado por el Excelentísimo Ayuntamiento de Málaga. En octubre de 1989 se remitió el informe correspondiente a la experimentación de los últimos 850 m. Con el presente informe se completa el estudio entre el P.K. 850 y el P.K. 3000.

2) El modelo se proyecta de fondo móvil y aportación sólida con objeto de poder reproducir los fenómenos de movimiento general de fondos. Se construye de acuerdo con las siguientes escalas: horizontal 1/75, vertical 1/50.

3) La obra se dimensiona para avenidas con un caudal punta de 600 m3/seg. de acuerdo con el hidrograma suministrado por el peticionario y representado en el gráfico nº 3.

4) Entre los perfiles P-18 y P-33 el modelo se construye de lecho fijo de acuerdo con las especificaciones del proyecto. Aguas arriba de la trampa de áridos el lecho del río se simula con carbón de peso específico 1,75 Tn/m3, representando a escala la curva granulométrica del río reflejada en el gráfico nº 4. La aportación sólida se realiza este material.

5) La Solución Proyecto del tramo comprendido entre los perfiles P-18 a P-28 (ver planos nº 1 y 4) presenta una disposición en planta en curva y contracurva, que junto al ancho de la sección, y los azudes y estanques dispuestos en solera, produce un flujo irregular que provoca grandes ondas para los mayores caudales (400 a 600 m3/seg), afectando, aunque parcialmente, a los puentes de Santo Domingo y Atarazanas. Se considera necesario disminuir la magnitud de estas ondas.

Como invariantes del proyecto se consideran: el trazado en planta, la concepción urbanística de los azudes y estanques y la cota de los puentes. Así pues, las

modificaciones a realizar para amortiguar las oscilaciones mencionadas no deben alterar estas premisas.

Para los caudales estudiados no se producen desbordamientos laterales en ningún punto de este tramo.

Conviene indicar aquí, que la experimentación de este tramo se ha realizado sin alimentación sólida, por considerar que ésta queda retenida por la trampa de áridos situada aguas arriba. Si por limpieza insuficiente, ésto no fuese así, podrían alterarse sustancialmente las condiciones del flujo, produciéndose una elevación de niveles.

6) La Solución Proyecto entre los puentes de la Aurora y de Armiñán (ver planos nº 2 y 4) está encaminada a ubicar la trampa de áridos así como a señalar las condiciones constructivas del tramo de aguas abajo de la misma, sin pretender prefijar, las dimensiones de la trampa y el perfil longitudinal del tramo de aguas abajo, y fijando solamente el trazado en planta de los cajeros. Ensayada la solución, y de acuerdo con los técnicos de la Confederación Hidrográfica del Sur y del Ayuntamiento de Málaga, se observa la necesidad de aumentar la capacidad de la trampa de áridos y de modificar el perfil longitudinal del tramo de aguas abajo.

7) Los ensayos del tramo situado aguas arriba de la trampa de áridos (ver plano nº 3), se realizan suponiendo que la totalidad de la aportación líquida y sólida proviene del propio río, y que, por lo tanto, los afluentes intermedios en dicho tramo no aportan cantidades significativas, en relación con el caudal total. Este análisis global es válido, a efectos prácticos, para observar la evolución general del cauce, pero puede presentar desviaciones locales respecto a los resultados obtenidos en los puntos de confluencia; Así, por ejemplo, es de esperar que el entronque del arroyo de los Angeles, presente en ocasiones un comportamiento distinto del observado en modelo.

Un análisis más pormenorizado de esa confluencia requeriría un incremento importante de los trabajos de toma de datos y experimentación. En consecuencia, su tratamiento haría necesario efectuar una ampliación del Convenio actual.

8) En los ensayos de la Solución Proyecto de este tramo se observan fuertes erosiones en la margen izquierda que afectan al estribo del puente de Armiñán y al muro de aguas arriba, ocasionados por la discontinuidad existente en el mismo, por lo que se procede a su rectificación

alineándolo con el estribo del puente de Armiñán.

9) La Solución Propuesta en el tramo comprendido entre los perfiles P-18 y P-28 (ver planos nº 5 y 7) introduce las modificaciones definidas en el punto 5.1.1, que básicamente consisten en suprimir el dentado de los cajeros entre los perfiles 19 y 24 e introducir cuatro dientes laterales adosados a los cajeros; al mismo tiempo se modifica el trazado en planta de los estanques así como el azud situado en el PK.989.

Con estos cambios, la Solución Propuesta presenta un comportamiento hidráulico aceptable, (ver gráfico nº 2), reduciéndose el tamaño de las ondas, y evitándose la incidencia en el puente de Atarazanas, aunque con un margen escaso.

10) Con la definición de la Solución Propuesta en el tramo entre los puentes de la Aurora y de Armiñan (ver planos nº 6 y 7) el funcionamiento hidráulico del tramo es satisfactorio. Se recomienda aumentar el resguardo de los cajeros entre los perfiles P-29 y P-30. La trampa de aridos es capaz de retener 15.000 m3. de arido con garantía de funcionamiento. Se considera necesario el mantenimiento permanente de esta estructura de forma que

sea capaz de absorber en todo momento el volúmen de áridos citado.

11) El tramo de aguas arriba del puente de Armiñán (ver plano nº 3) se ensaya con los fondos iniciales reflejados en la hoja de planos nº 3. Se rectifica el cajero de la margen izquierda aguas arriba del puente de Armiñan y se dispone de una protección de escollera de 80 cm. de diámetro aguas abajo del primer azud situado aguas arriba del puente de la Rosaleda. Para los ensayos los cajeros se suponen con cimentación suficientemente profunda y coronados a la cota reflejada en el gráfico nº 5.

12) En este tramo, la experimentación de la Solución Proyecto, con las modificaciones anteriormente apuntadas se encaminó a determinar valores orientativos de los movimientos generalizados de fondo así como de la lámina de agua. En este sentido, dentro de la gama de ensayos efectuados, el gráfico 5 muestra los resultados obtenidos tras someter al río al paso de un hidrograma de 600 m3/seg., sin aportación sólida y con aportación sólida de 12.000 m3.

En esta fase no es posible obtener resultados definitivos de la configuración del fondo y lámina de agua, ya que ambas dependen de la aportación sólida real afluente al

tramo, la cual a su vez está en función de la solución que se adopte en un futuro para el acondicionamiento del cauce aguas arriba.

13) En cualquier caso, se recomienda una protección lineal de los cajeros que absorba el efecto de una posible bajada de fondos y evite tambien los posibles ataques producidos por el meandreo del río para pequeños caudales.

Madrid, abril de 1990

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Víctor Elviro García

Examinado y Conforme	VºBº,
EL JEFE DE DIVISION DE	EL DIRECTOR DEL
HIDRAULICA DE LOS CAUCES.,	LABORATORIO DE HIDRAULICA.,
Angel Lara Domínguez	Cristóbal Mateos Iguácel