



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO
para

Empresa de Gestión Medioambiental, S.A.
(EGMASA)

MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA CAPACIDAD
HIDRÁULICA ACTUAL DEL ENCAUZAMIENTO DEL
TRAMO URBANO DEL RÍO GUADALMEDINA
(MÁLAGA)

INFORME

TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 41-410-0-002

Madrid, septiembre de 2010

Centro de Estudios Hidrográficos



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

Para

**Empresa de Gestión Medioambiental, S.A.
(EGMASA)**

MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA ACTUAL DEL ENCAUZAMIENTO DEL TRAMO URBANO DEL RÍO GUADALMEDINA (MÁLAGA)

INFORME

TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 41-410-0-002

Madrid, septiembre de 2010



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

TÍTULO:

**MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA CAPACIDAD
HIDRÁULICA ACTUAL DEL ENCAUZAMIENTO DEL
TRAMO URBANO DEL RÍO GUADALMEDINA
(MÁLAGA)**

INFORME

CLIENTE:

**Empresa de Gestión Medioambiental, S.A.
(EGMASA)**

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 TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLÁUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACIÓN CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS

Fdo. Juan Manuel Ruiz García

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, a de septiembre de 2010

EL DIRECTOR DEL CEDEX

Fdo. Mariano Navas Gutiérrez

SÓLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN



INDICE

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	2
3.	RECOPIACIÓN Y ELABORACIÓN DE LAS CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS EN MODELO FÍSICO REALIZADOS, TANTO RESPECTO DE LA PRESA DE EL LIMONERO COMO DEL CAUCE DEL RÍO GUADALMEDINA	3
3.1.	<i>Introducción</i>	3
3.2.	<i>Datos hidrológicos y sedimentológicos</i>	5
3.3.	<i>Estudios hidráulicos iniciales del río Guadalmedina</i>	7
3.3.1.	<i>Introducción</i>	7
3.3.2.	<i>Tramo entre el puente de Tetuán y la desembocadura</i>	7
3.3.3.	<i>Tramo entre el puente de La Rosaleda y el de Tetuán</i>	11
3.4.	<i>Estudios hidráulicos complementarios del río Guadalmedina</i>	13
3.4.1.	<i>Introducción</i>	13
3.4.2.	<i>Tramo entre los puentes de Armiñán y Tetuán</i>	13
3.4.3.	<i>Tramo de aguas arriba del puente de Armiñán</i>	14
4.	SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL CAUCE ACTUAL DEL RÍO GUADALMEDINA A SU PASO POR LA CIUDAD DE MÁLAGA, TENIENDO EN CUENTA LAS CONDICIONES ACTUALES	18
4.1.	<i>Introducción</i>	18
4.2.	<i>El modelo matemático empleado</i>	19
4.3.	<i>La experimentación</i>	25
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
6.	EQUIPO ENCARGADO DE LA REALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS	30
	ANEXO- INFORMES TÉCNICOS EMITIDOS POR EL CEDEX	33



CEDEX

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

En julio de 2010 la empresa de Gestión Medioambiental SA, EGMASA (empresa pública de la Junta de Andalucía adscrita a la Consejería de Medio Ambiente) solicitó al CEDEX la realización del estudio "MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA ACTUAL DEL ENCAUZAMIENTO DEL TRAMO URBANO DEL RÍO GUADALMEDINA (MÁLAGA)", para lo cual se suscribió una carta oferta.

Los trabajos comprendidos en dicho estudio abarcaban las dos siguientes actividades:

1. Recopilación y elaboración de las conclusiones de los estudios en modelo físico realizados, tanto respecto de la presa de El Limonero como del cauce del río Guadalmedina
2. Simulación numérica en el Centro de Estudios Hidrográficos para determinar la capacidad hidráulica del cauce actual del río Guadalmedina a su paso por la ciudad de Málaga, teniendo en cuenta las condiciones actuales

Una vez realizados los trabajos objeto de dicho encargo, se redacta el presente INFORME FINAL para dar cumplimiento a lo estipulado en la citada carta oferta, y presentar así a la empresa de Gestión Medioambiental SA, EGMASA los resultados obtenidos.

2. ANTECEDENTES

En la actualidad, el río Guadalmedina a su paso por la ciudad de Málaga está encauzado con una capacidad teórica aproximada de 600 m³/s en una longitud de unos 3.000 m. Para complementar dicha protección ante avenidas, justo aguas arriba de la ciudad de Málaga se construyó en el año 1984 la presa del Limonero. La capacidad de 600 m³/s corresponden aproximadamente a unos 400 m³/s de la avenida laminada por la presa (periodo de retorno de 1.000 años) más otros 200 m³/s de caudal generado aguas abajo de la presa (hidrología urbana).

La mayoría de las obras de encauzamiento a que se hace referencia en el párrafo anterior fueron realizadas en la década de 1990. El CEDEX (en estrecha colaboración con la Dirección General del Agua, a través de la entonces Confederación Hidrográfica del Sur, y con el Excmo. Ayuntamiento de Málaga) tuvo una participación activa en el diseño de dichas obras mediante su estudio en diversos modelos físicos reducidos en el Laboratorio de Hidráulica de su Centro de Estudios Hidrográficos.

Por parte del Ayuntamiento de Málaga, desde al menos el inicio de los años 90, se ha planteado con distinta intensidad la conveniencia de abordar un embovedamiento o soterramiento del río, siendo durante el período 1995-2000 cuando más se insistió en el proyecto. Esta actuación sería competencia de la actual Agencia Andaluza del Agua (heredera de las competencias de la antigua Confederación Hidrográfica del Sur, dependiente hasta 2005 del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).

En este contexto se emitieron los siguientes Informes Técnicos por parte del CEDEX:

1. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Avance de trabajo. Junio de 1989. Clave CEDEX 41-430-1-017.
2. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Informe Parcial nº 1. Octubre de 1989. Clave CEDEX 41-430-1-017.
3. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Informe Final. Abril de 1990. Clave CEDEX 41-430-1-017.
4. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina II. Tramo entre los puentes de Armiñán y Tetuán. Informe Final. Enero de 1992. Clave CEDEX 41-491-1-026.
5. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina II. Tramo de aguas arriba del puente de Armiñán. Informe Final. Febrero de 1992. Clave CEDEX 41-491-1-026.

Más recientemente (en septiembre de 2009) el CEDEX (por encargo de la Agencia Andaluza del Agua) emitió un nuevo Informe Técnico recopilatorio de los trabajos anteriores bajo el título "TRABAJOS PREVIOS PARA CONOCER LA CAPACIDAD DE DESAGÜE DEL CURSO BAJO DEL RÍO GUADALMEDINA" (clave 47-409-0-001).

3. RECOPIACIÓN Y ELABORACIÓN DE LAS CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS EN MODELO FÍSICO REALIZADOS, TANTO RESPECTO DE LA PRESA DE EL LIMONERO COMO DEL CAUCE DEL RÍO GUADALMEDINA

3.1. Introducción

Los primeros trabajos realizados por el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX se realizan en el marco de un Convenio de colaboración con la antigua Confederación Hidrográfica del Sur (de la Dirección General del Agua del entonces Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo) para la realización de un trabajo bajo el título "Estudio en modelo reducido del encauzamiento del río Guadalmedina" realizado sobre la base de un proyecto de dragado y modificación del encauzamiento del tramo urbano del río Guadalmedina redactado por el Excmo. Ayuntamiento de Málaga en 1988 que, dada la magnitud de las obras y las modificaciones que introducía en el cauce, aconsejaba la realización de un ensayo en modelo físico reducido.

Los estudios asociados a este Convenio se iniciaron en 1989 y concluyeron en 1990 y generaron los tres Informes siguientes emitidos por el CEDEX:

1. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Avance de trabajo. Junio de 1989. Clave CEDEX 41-430-1-017
2. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Informe Parcial nº 1. Octubre de 1989. Clave CEDEX 41-430-1-017.
3. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Informe Final. Abril de 1990. Clave CEDEX 41-430-1-017.

El objeto de dichos Informes era el estudio del encauzamiento del río en sus últimos 3.000 m, aproximadamente desde el puente de la Rosaleda hasta el mar, para lo cual se construyó un modelo de lecho móvil con distorsión de escala (horizontal 1/75 y vertical 1/50) y con distorsión en el material del lecho y de la aportación sólida, para lo cual se utilizó carbón de densidad $1,75 \text{ Tn/m}^3$.

De este estudio, y previo a la redacción del Informe final de abril de 1990, se emitieron con anterioridad sendos Informes previos (un Avance de trabajo de junio de 1989 y un Informe Parcial nº 1 de octubre de 1989) con las conclusiones parciales obtenidas durante el curso de los estudios. En concreto, en el Informe Parcial nº 1 (y dada la urgencia de los estudios) se analizó el comportamiento del río en sus últimos 850 m (entre el puente de Tetuán y la desembocadura) y en el Informe Final se completó el estudio, analizando el comportamiento en el tramo aguas arriba, entre el puente de Tetuán y el de la Rosaleda.

Finalizados estos estudios se realiza otra actuación urbanística en el río que vuelve a ser objeto de estudio y que da lugar a la firma de un nuevo Convenio de Colaboración entre la Dirección General de Obras Hidráulicas y el CEDEX para el estudio en modelo reducido del río Guadalmedina desde el puente de Tetuán hasta la cadena situada aguas arriba del puente de la Rosaleda. Para los nuevos ensayos se modificó y amplió convenientemente el modelo físico utilizado en el estudio anterior. Para la comprobación hidráulica se utilizó un hidrograma con caudal punta de $600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con todo, como consecuencia de estos ensayos se emiten los Informes siguientes:

4. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina II. Tramo los puentes de Armiñán y Tetuán. Informe Final. Enero de 1992. Clave CEDEX 4-1-026.
5. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina II. Trar aguas arriba del puente de Armiñán. Informe Final. Febrero de 1992. Clave CEDEX 491-1-026.

Con posterioridad a estos trabajos se realizó el estudio en modelo reducido (reincorporación de los desagües de fondo de la presa de El Limonero, emitiéndose un Informe en marzo de 1994 sobre dichos trabajos que solamente afectan al canal de descarga y desagües de fondo y no al encauzamiento propiamente dicho por lo que se cita aquí pero se harán más referencias a estos trabajos.

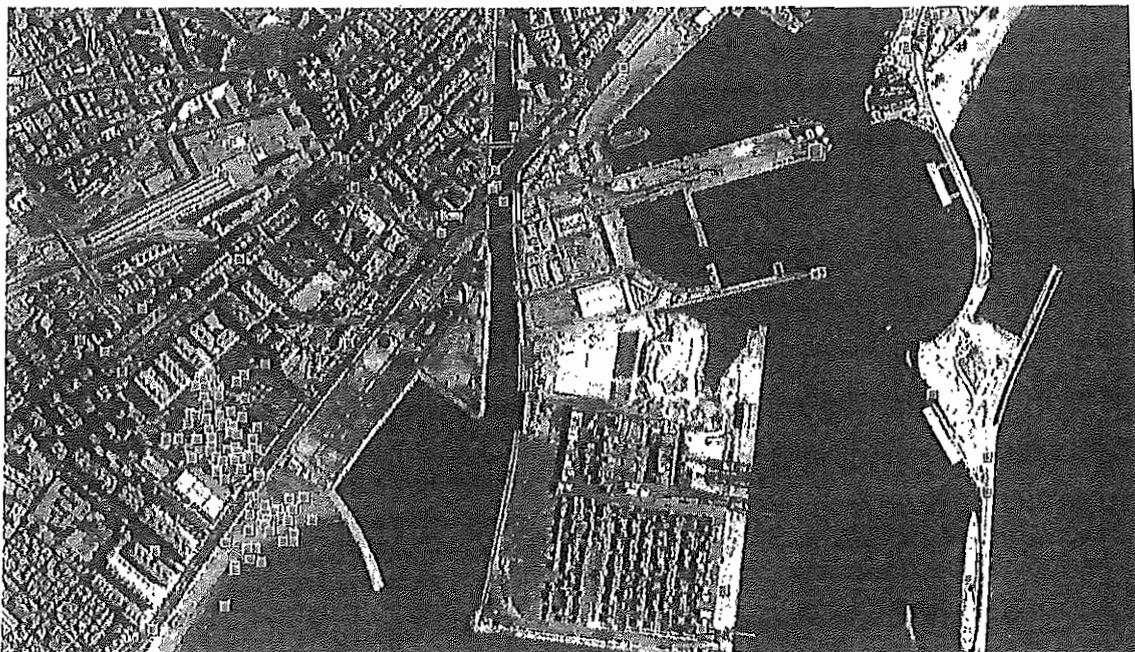


Fig. 1. Vista general del río Guadalmedina.

3.2. Datos hidrológicos y sedimentológicos

La presa de El Limonero regula la mayoría de los caudales generados en la cuenca del río Guadalmedina y por lo tanto para el último tramo, que es el objeto de todos los estudios realizados; el análisis de caudales no solamente depende de los estudios hidrológicos de la cuenca sino fundamentalmente de los planes de emergencia y gestión de la presa, teniendo en cuenta que la finalidad primordial de la misma es de laminación de avenidas y protección frente a inundaciones de la ciudad de Málaga.

Por lo tanto fue la entonces Confederación Hidrográfica del Sur la que suministró los datos hidráulicos a los que debía someterse el encauzamiento (fijándolos en $600 \text{ m}^3/\text{s}$ conforme al hidrograma adjunto) y el Laboratorio de Hidráulica utilizó dichos datos como base de partida para comprobar la capacidad real del mismo en todos los estudios realizados.

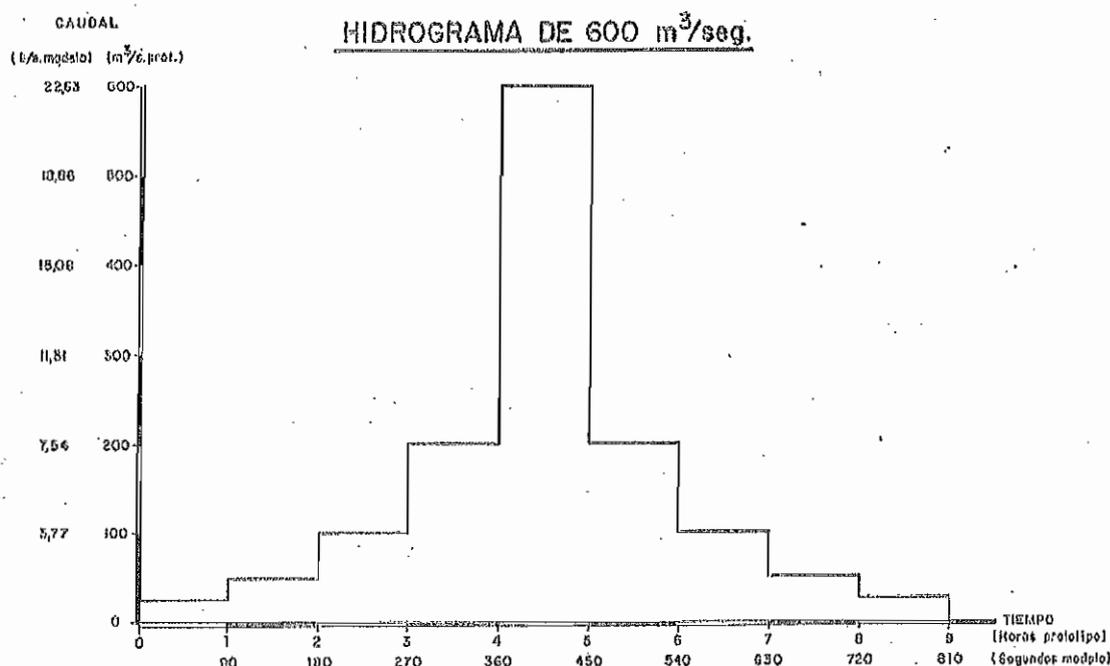


Fig. 2. Hidrograma utilizado en los estudios del río Guadalmedina.

Respecto a los datos sedimentológicos de referencia para los estudios realizados, la curva granulométrica empleada fue la que se indica a continuación, también facilitada por la entonces Confederación Hidrográfica del Sur.

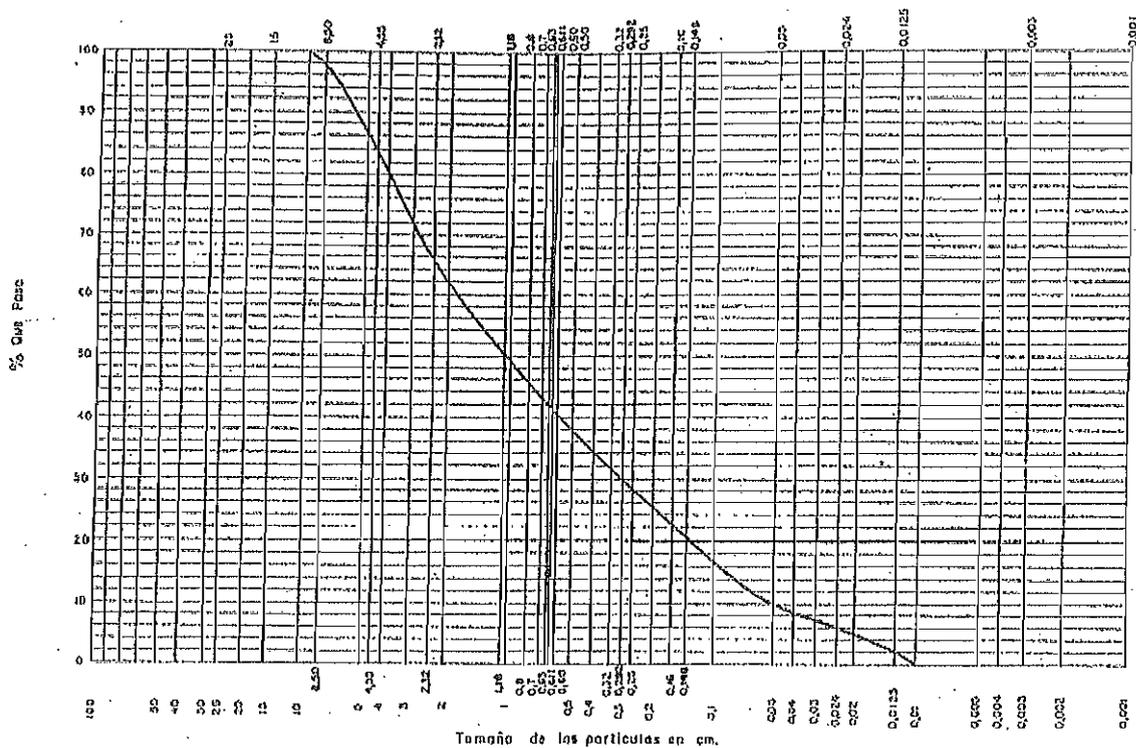


Fig. 3. Curva granulométrica del río Guadalmedina entre el PK 1+800 y 3+000.

3.3. Estudios hidráulicos iniciales del río Guadalmedina

3.3.1. Introducción

Tal como se indicó en el apartado 3, a resultas de la redacción de un proyecto de dragado y modificación del encauzamiento del tramo urbano del río Guadalmedina elaborado por el Excmo. Ayuntamiento de Málaga en 1988, la Confederación Hidrográfica del Sur suscribió un Convenio de Colaboración con el CEDEX para la elaboración de un estudio en modelo físico a escala reducida del río Guadalmedina desde el puente de Armiñán hasta la desembocadura.

A su vez, y dada la urgencia de los trabajos, el estudio se dividió en dos tramos: el correspondiente a la zona entre el Puente de Tetuán a la desembocadura (del que se emitieron un Avance de trabajo y un Informe Parcial nº 1 en junio y octubre de 1989) y el que discurre desde el puente de Tetuán hasta el de Armiñán (que se incluyó en el Informe Final de la Actuación en junio de 1990).

Los Informes técnicos emitidos por el CEDEX fueron los siguientes:

1. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Avance de trabajo. Junio de 1989. Clave CEDEX 41-430-1-017
2. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Informe Parcial nº 1. Octubre de 1989. Clave CEDEX 41-430-1-017.
3. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Informe Final. Abril de 1990. Clave CEDEX 41-430-1-017.

3.3.2. Tramo entre el puente de Tetuán y la desembocadura

Este primer tramo urbano del río Guadalmedina está comprendido entre el puente de Tetuán (P17, P.K. 800) y la desembocadura en el mar (P0, P.K. 000) situada unos 35 m aguas abajo del puente de Pescadería, y a su vez está dividido en dos zonas claramente diferenciadas: la que va desde el denominado P-11 hasta la desembocadura (de influencia marítima) y la otra desde el P-11 hasta el P-18. En el P-11 (P.K. 500) se situaba un salto constituido por un azud coronado a la cota +0.9 con el pie a la cota -0.6 que independizaba ambas zonas.

En la primera zona, la solera va desde la cota -0,1 hasta la -1,0 y está formada por una escollera de 15 cm y las protecciones de los muros son también de escollera previsiblemente vertida. En la segunda zona, la solera es de escollera de 25 cm cubierta de material vegetal ornamental y los cajeros estaban protegidos mediante escalones de hormigón.

El modelo se estudió para caudales de 100, 200, 400 y 600 m³/s siendo esta última una avenida extraordinaria de comprobación. Se realizan los ensayos para dos hipótesis de niveles en el mar, bajamar a la cota -0.5 y pleamar a la cota +2.0.

El río es cruzado en esta zona por los siguientes puentes, los cuales fueron reproducidos en el modelo físico que se construyó en el CEDEX:

- Tramo entre desembocadura y P-11 Pescadería
Ferrocarril
Heredía (en proyecto en 1989)
Carmen

- Tramo entre P-11 y P-18
Salitre (en proyecto en 1989)
Vendeja (en proyecto en 1989)
Tetuán

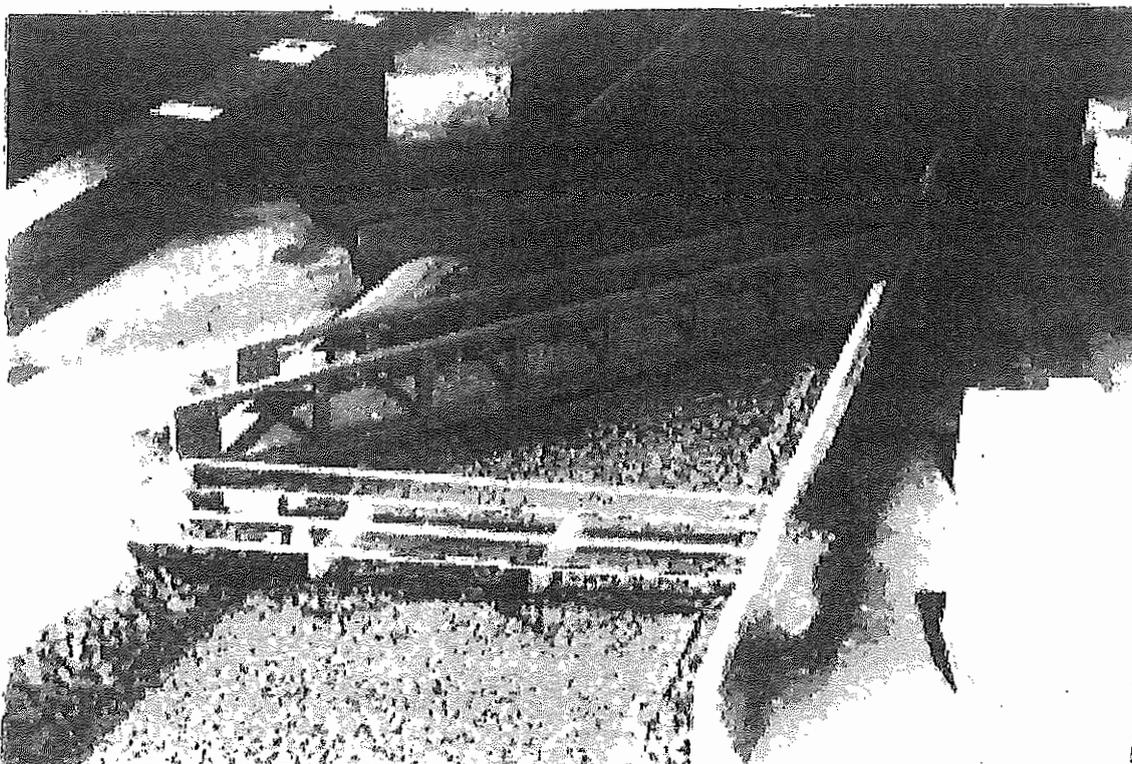


Fig. 4. Puentes de Pescadería, Ferrocarril y Heredia.

El proyecto suponía que el lecho era estable en todo el cauce y que la lámina de agua no debía tocar los tableros de los puentes tanto para el caudal máximo como para posibles casos de régimen transitorio. La aportación sólida en arrastre se suponía despreciable, pues todo el material sólido era retenido aguas arriba.

Las hipótesis de diseño hidráulico eran que la capacidad de desagüe debía ser de $600 \text{ m}^3/\text{s}$ para dos hipótesis referidas a la cota del mar, pleamar a la cota +2 y bajamar a la cota -0,5.

Pese a las hipótesis anteriores de estabilidad del cauce, se construyó un modelo de fondo móvil y aportación sólida con objeto de poder reproducir los fenómenos de movimiento general de fondos de la zona superior del río. El modelo tenía una ligera distorsión de escala, horizontal 1/75 y vertical 1/50, también en el material del lecho y de la aportación sólida, para lo cual se utilizó carbón de densidad $1,75 \text{ Tn/m}^3$.

Las principales conclusiones finales que se obtuvieron de estos estudios fueron las siguientes:



- El tramo superior comprendido entre el P.K. 850 (P18) y el P.K. 500 (P 11) presenta en general un comportamiento adecuado, aunque el agua alcance en alguno de los puentes (Vendeja) niveles superiores a los deseables. En cualquier caso, posteriores modificaciones en el cajero izquierdo de dicho puente, junto a una remodelación general de la planta, hicieron posible que se disminuyeran los niveles.
- El tramo inferior comprendido entre el P.K. 500 (P 11) y el P.K. 000 (P 1) está condicionado por el nivel del mar. Para bajar el río está muy encima del mar y no presenta problemas de cotas pero sí de arrastres por lo que es necesario realizar una protección con escollera del tamaño adecuado protegiendo parcialmente el lecho. Para pleamar los niveles de agua son superiores pero no llegan a tocar los tableros de los puentes.

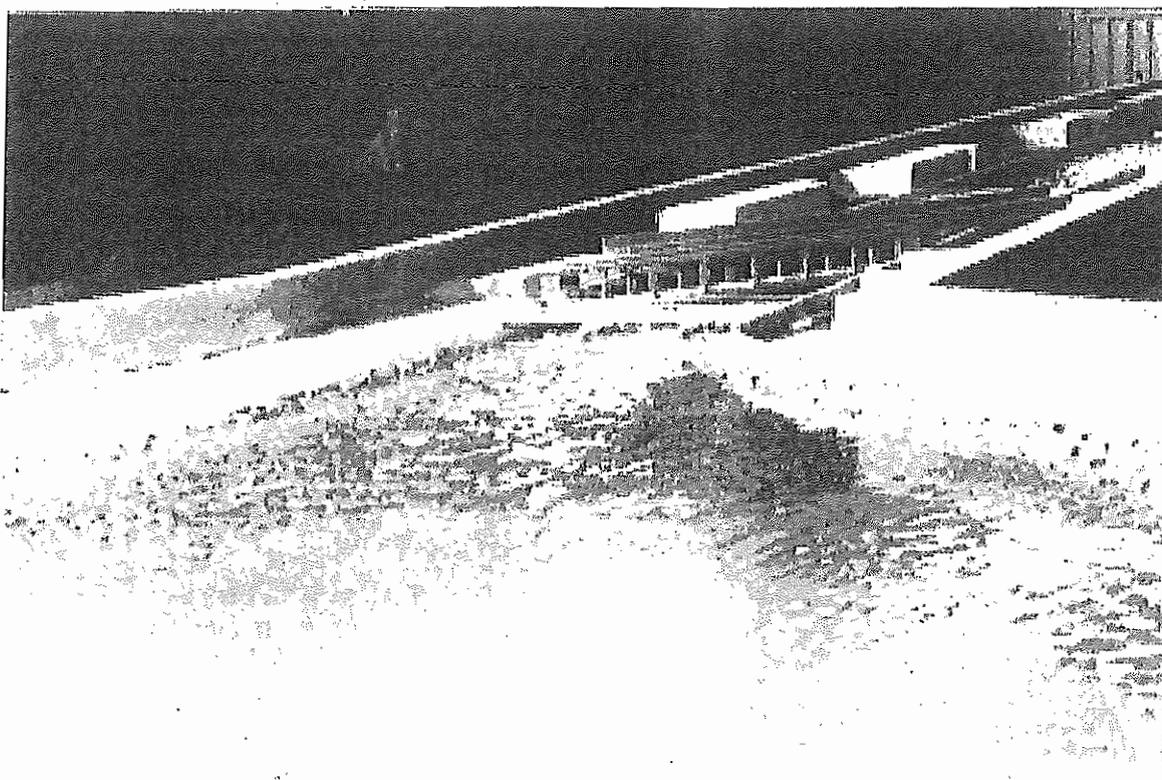


Fig. 5. Comportamiento hidráulico de la desembocadura para 600 m³/s.

MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA ACTUAL DEL ENCAUZAMIENTO DEL TRAMO URBANO DEL RÍO GUADALMEDINA (MÁLAGA)

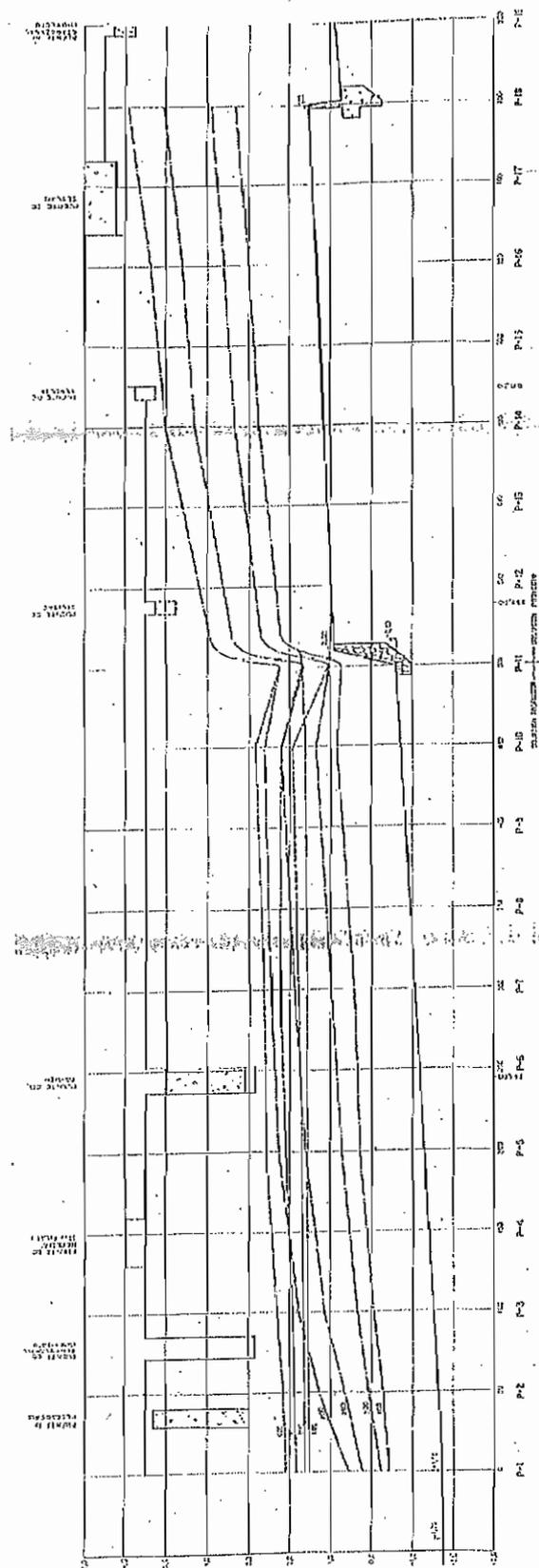


Fig. 6. Perfil longitudinal del tramo urbano del río Guadalmedina



3.3.3. Tramo entre el puente de La Rosaleda y el de Tetuán.

El tercer Informe, con carácter Final del trabajo realizado, describe los resultados de los estudios y ensayos realizados en el tramo comprendido entre el puente de Tetuán (P.K. 850 P18) y el puente de la Rosaleda (P.K. 3000). A su vez, este tramo está dividido en los tres siguientes:

- Primer tramo. Estaba comprendido entre los perfiles P18 (PK 850) y P28 (PK 1350), modificando el trazado en planta de aquel entonces del río y disponiendo un estrechamiento de la sección. La solera en este tramo era de hormigón pretensado con una variedad de formas a lo largo del mismo.

Este tramo se configuraba como una sucesión de saltos, estanques y zonas de paseo donde los criterios arquitectónicos y lúdicos primaron en el diseño, sobre los aspectos hidráulicos.

En este tramo se modelaron los tres siguientes puentes: Atarazanas (en proyecto en 1989) y Santo Domingo y Aurora (en servicio en aquel año). Se suprimieron los puentes de Souvirón y Cisneros, en algún momento considerados.

- Segundo tramo. Estaba comprendido entre los puentes de la Aurora (P28) y Armiñán, representando la zona de transición entre la zona urbana de aguas abajo y la zona natural de aguas arriba.

Otra característica importante de este tramo es que se disponía en él de una trampa de áridos (aguas arriba del P 33) capaz de retener todo el árido arrastrado por el río y sus afluentes aguas arriba del puente de Armiñán hasta la presa del Limonero

Aparte de los puentes que definen los extremos de este tramo, en el mismo había un tercer puente, el de La Trinidad (PK 1+481) sin pilas intermedias.

- Tercer tramo. Estaba comprendido entre el Puente de Armiñán y la primera cadena existente aguas arriba del puente de la Rosaleda. Representa al río Guadalmedina en su estado natural y en él, además de los puentes citados, se sitúa en la margen derecha e inmediatamente aguas arriba del puente de Armiñán, la desembocadura del Arroyo de los Ángeles, si bien en los estudios del CEDEX no se analizó la influencia del flujo procedente de este arroyo

El modelo construido para el anterior estudio es de lecho móvil y aportación sólida en el tramo superior hasta llegar a la balsa de decantación o trampa de áridos donde se deposita todo el material y por lo tanto el tramo de aguas abajo es de lecho fijo y sin aportación sólida.

El dimensionamiento de la trampa de áridos depende por un lado de la aportación sólida proveniente del propio lecho del río y por otro de la aportación suministrada por los barrancos laterales situados aguas abajo de la presa de El Limonero que retiene toda la aportación sólida del río Guadalmedina; la aportación de dichos barrancos presenta una gran incertidumbre puesto que disponen de azudes de retención de áridos. En cualquier caso los ensayos se realizaron con diversas hipótesis de aportación sólida para poder dimensionar adecuadamente la trampa de áridos.

El caudal de diseño de todo el tramo sigue siendo la avenida de $600 \text{ m}^3/\text{s}$., la trampa de áridos se dimensiona para un volumen de retención de 25.000 m^3 que los ensayos demuestran que es

adecuado, pero que obliga a un mantenimiento de limpieza de la misma. En estas condiciones el tramo de aguas abajo de la trampa se ensaya con caudal líquido sin aportación sólida, que con la propuesta de algunas modificaciones al proyecto original permite comprobar que el tramo funcione correctamente para el caudal de diseño, sin desbordar ni afectar a los puentes. La trampa de áridos funciona hidráulicamente de forma satisfactoria al mismo tiempo que retiene todo el volumen de árido del hidrograma de ensayo o más propiamente dicho el solidograma, permitiendo un cierto resguardo en la capacidad.

Desde el puente de Tetuán hasta el puente de la Rosaeda los ensayos se realizan con lecho móvil, no presentando problemas de capacidad, pero requiriendo una protección longitudinal de los muros fundamentalmente por el meandro del río para pequeños caudales que pueden poner en peligro la estabilidad de los mismos.

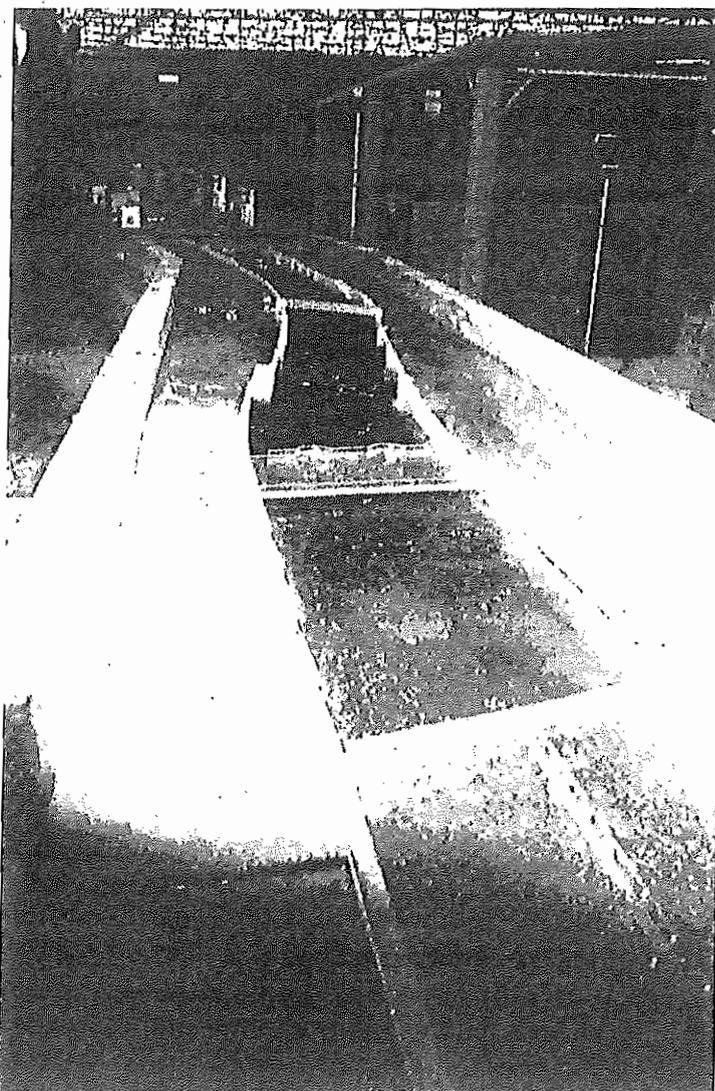


Fig. 7. Zona del puente de Atarazanas.

3.4. Estudios hidráulicos complementarios del río Guadalmedina

3.4.1. Introducción

El estudio de este tramo se recoge en los dos últimos Informes citados en el punto 2 de este Informe y que son:

4. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina II. Tramo entre los puentes de Armiñán y Tetuán. Informe Final. Enero de 1992. Clave CEDEX 41-491-1-026.
5. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina II. Tramo de aguas arriba del puente de Armiñán. Informe Final. Febrero de 1992. Clave CEDEX 41-491-1-026.

Surge este estudio como consecuencia de un nuevo proyecto presentado por el Excelentísimo Ayuntamiento de Málaga que modifica en este tramo el anterior proyecto de forma muy importante.

3.4.2. Tramo entre los puentes de Armiñán y Tetuán.

El estudio se recoge en el Informe nº 4 y el tramo comprende, desde aguas arriba hacia aguas abajo, el puente de Armiñán, la trampa de áridos, tramo de adecuación hasta el puente de La Aurora y un tramo arquitectónico hasta el puente de Tetuán con una longitud aproximada de 1100 m. El caudal máximo sigue siendo de 600 m³/s y la trampa de áridos se debe dimensionar para retener todo el árido en transporte que llegue a la misma.

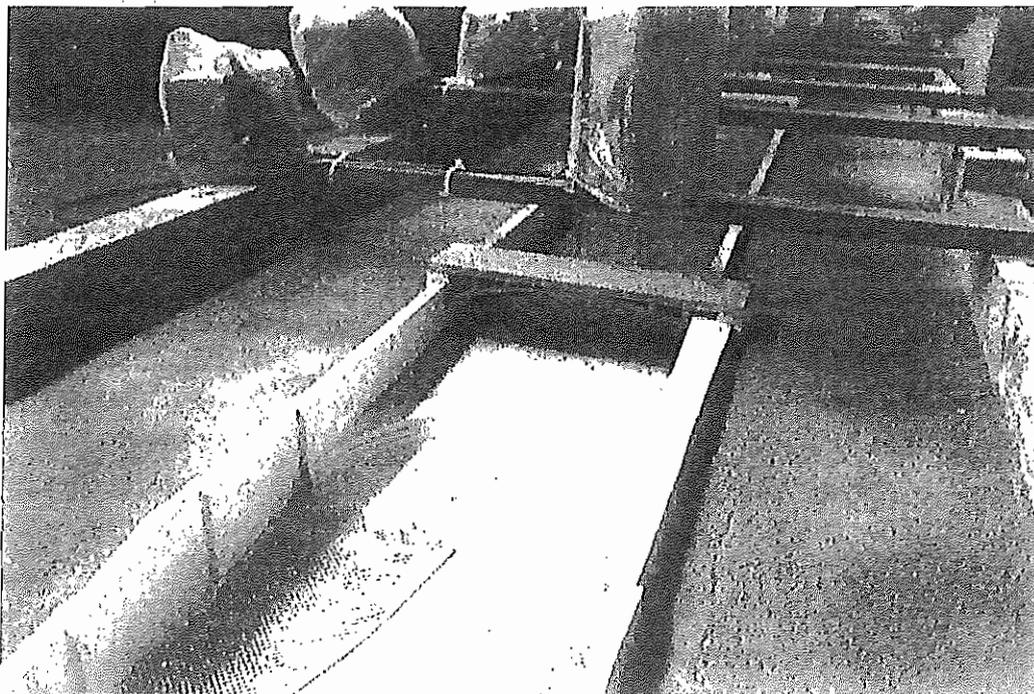


Fig. 8. Detalle del modelo físico construido para el estudio del río Guadalmedina.

De los ensayos realizados se obtiene, que el encauzamiento es capaz de transportar los 600 m³/s con pequeños desbordamientos en la zona de la trampa de áridos y poniendo en carga el puente de Atarazanas por lo que se propone construir un botaollos en la primera zona y anclar el puente en pilas y estribos.

Al construir la trampa de áridos aparecieron conducciones de diversa índole que obligaron a reducir su sección transversal, lo que origina un aumento de la velocidad, disminuyendo la capacidad de retención del árido fino; esto hace más importante seguir una política de mantenimiento y limpieza de la trampa, eficaz; en cualquier caso para avenidas importantes el árido fino se irá depositando a lo largo del encauzamiento sin que se observen perturbaciones hidráulicas significativas.

3.4.3. Tramo de aguas arriba del puente de Armiñán.

Este tramo tiene una longitud aproximada de 1200 m y los resultados del estudio están recogidos en el Informe nº 5.

En principio se ensaya una solución con un cauce menor y protección con riostras de hormigón que funciona muy deficientemente; en el tramo se producen fuertes erosiones en la zona de aguas arriba y depósitos en la de aguas abajo, o sea un basculamiento del cauce a una pendiente menor. A la vista de estos resultados la Confederación Hidrográfica del Sur propone una protección continua de escollera. En estas condiciones el cauce de aguas bajas tiene una capacidad de 250 m³/s, teniendo el resto del cauce la capacidad total de los 600 m³/s previstos en el proyecto.

Para evitar las erosiones, el cauce de aguas bajas se proyecta con escollera continua de 30 cm siendo estable para todas las sollicitaciones ensayadas. En las banquetas laterales se dispone de dos metros de escollera de 20 cm junto a los muros y junto a las losas del talud del cauce menor. Además se dispone de protecciones singulares a la salida de la cadena 2, en los puentes de La Aurora y junto a la zona de transición.

En este tramo se produce la entrada de varios arroyos que pueden tener aportaciones de caudal sólido importantes y que actualmente disponen de azudes de retención de áridos de escasa capacidad. No es mala la aportación sólida, es incluso favorable para mantener un perfil de equilibrio en el río, el problema es que se desconoce el estado de los azudes y por lo tanto si hay retención de árido o no, por eso se decidió poner un manto continuo de protección de escollera.

MÓDELACIÓN NUMÉRICA DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA ACTUAL DEL ENCAUZAMIENTO DEL TRAMO URBANO DEL RÍO GUADALMEDINA (MÁLAGA)

GRAFI

LÁMINAS DE AGUA. SOLUCIÓN PROPUESTA.

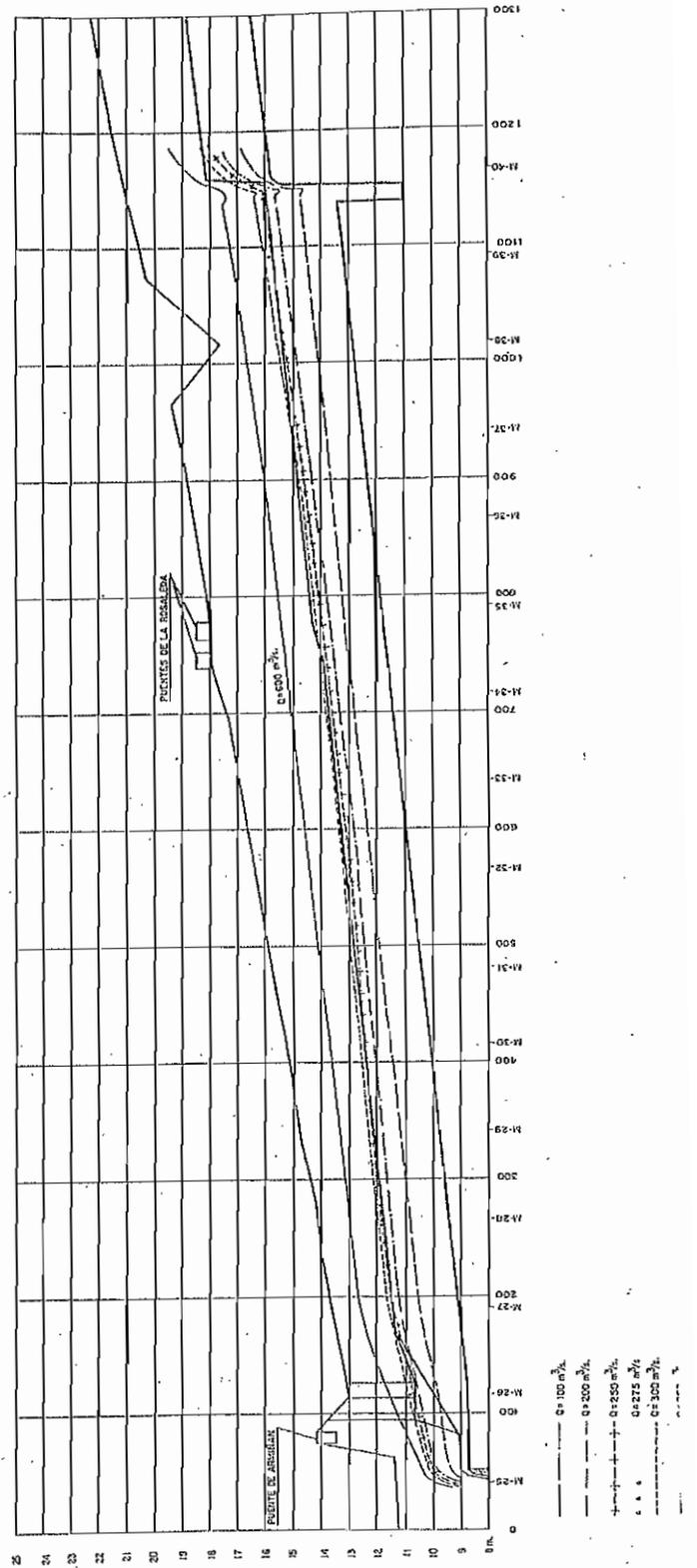


Fig. 10. Tramo aguas arriba del puente de Armiñán.

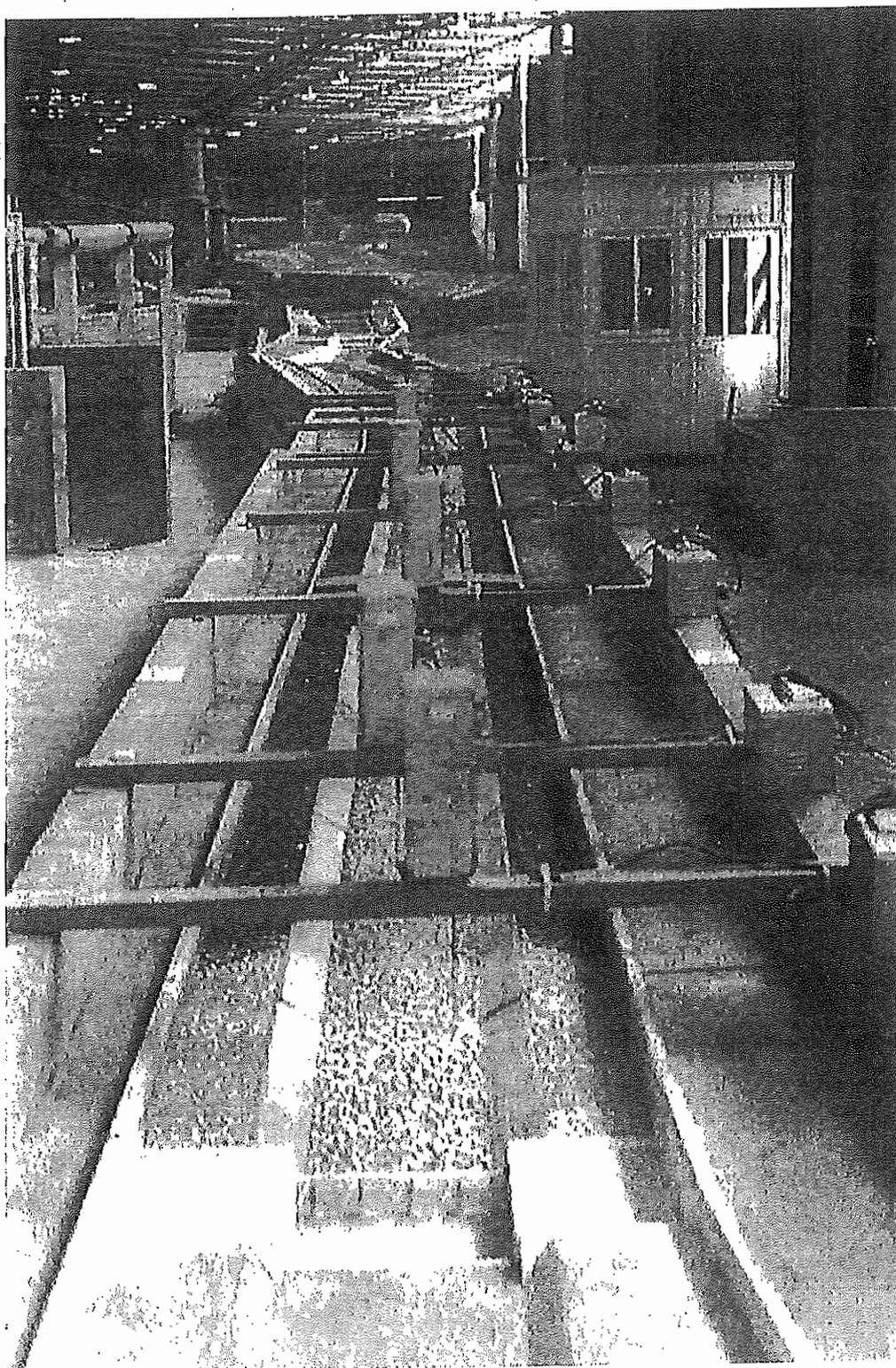


Fig. 11. Vista general desde aguas arriba.

4. SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL CAUCE ACTUAL DEL RÍO GUADALMEDINA A SU PASO POR LA CIUDAD MÁLAGA, TENIENDO EN CUENTA LAS CONDICIONES ACTUALES

4.1. Introducción

Una vez recopilados y analizados los estudios descritos en el apartado anterior relativo: diseño y ensayos en modelo físico reducido del río Guadalmedina desde aguas abajo actual puente del Mediterráneo hasta su desembocadura en el mar, se ha procedido a realizar una simulación numérica de su capacidad hidráulica actual, teniendo en cuenta las posibles modificaciones realizadas desde entonces y hasta la fecha.

Para ello, y en primer lugar, se ha procedido a inspeccionar visualmente el encauzamiento construido, lo cual ha permitido comprobar que se ha mantenido el diseño ensayado en CEDEX en el tramo de encauzamiento situado aguas abajo del Puente de Armiñan. Sin embargo se han detectado diferencias en el tramo aguas arriba del mismo.

La existencia de un azud perteneciente a una estructura desarenadora, justo aguas abajo del puente de Armiñan, permite independizar el funcionamiento hidráulico del encauzamiento aguas arriba y aguas abajo de este punto. Puesto que el tramo de aguas abajo se ajusta al estudiado en modelo físico, se ha realizado una simulación numérica del tramo de encauzamiento situado entre el embalse del Limonero y el puente de Armiñan aguas abajo hasta la confluencia con el Arroyo de los Ángeles, con el fin de comprobar la capacidad hidráulica del encauzamiento existente.

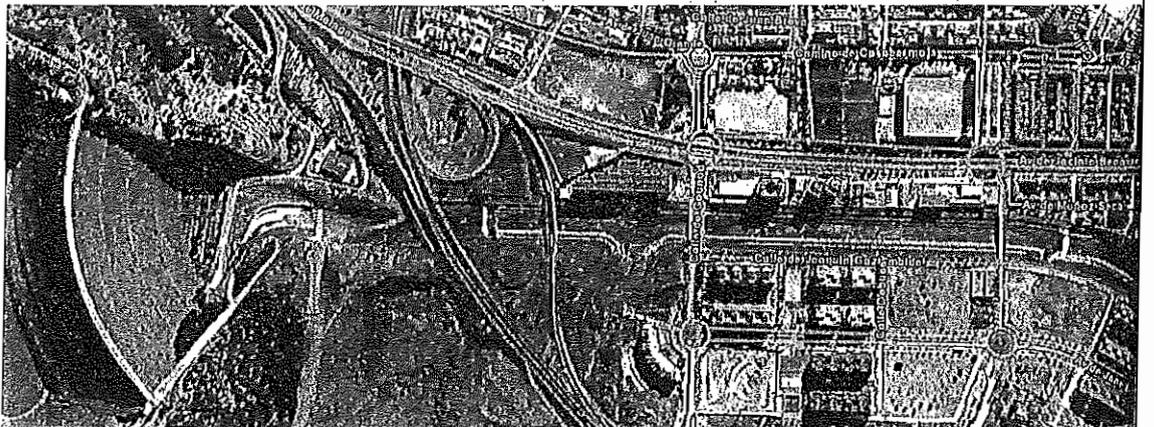


Fig. 12. Encauzamiento del río Guadalmedina desde la presa del Limonero al puente de la Bruckner.

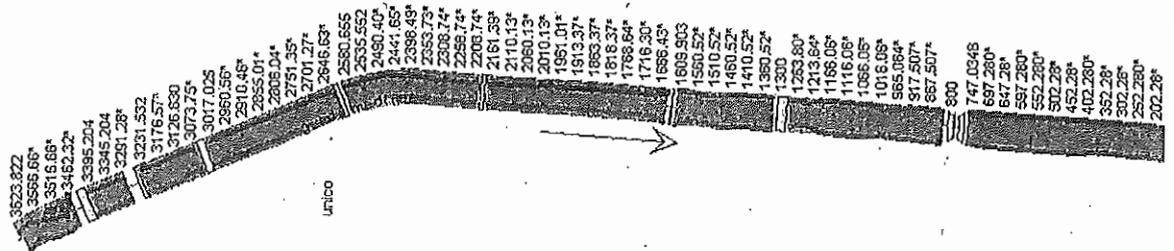


Fig.15. Planta y secciones de cálculo.

La rugosidad adoptada para el cauce es de $n=0.030$, que es un valor del lado de la seguridad teniendo en cuenta la existencia de estructuras de estabilización de pendiente en el fondo del cauce, que limitarán las formas del lecho.

Además se han simulado todas las estructuras situadas en el cauce, que se muestran en las siguientes figuras. Se ha adoptado un coeficiente de contracción de pilas y estribos de 0.3 y 0 respectivamente, que son valores sancionados por la experiencia y vienen recomendados por US Army Corps of Engineers. (tabla 3.3 del manual de referencia.)

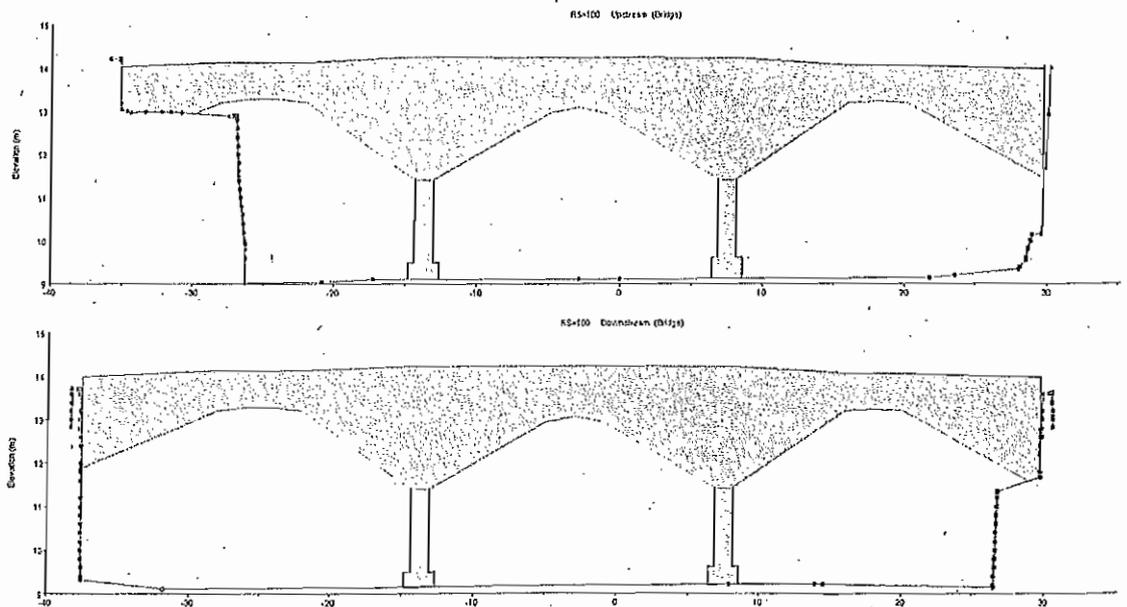


Fig.16. Puente de Armiñan.

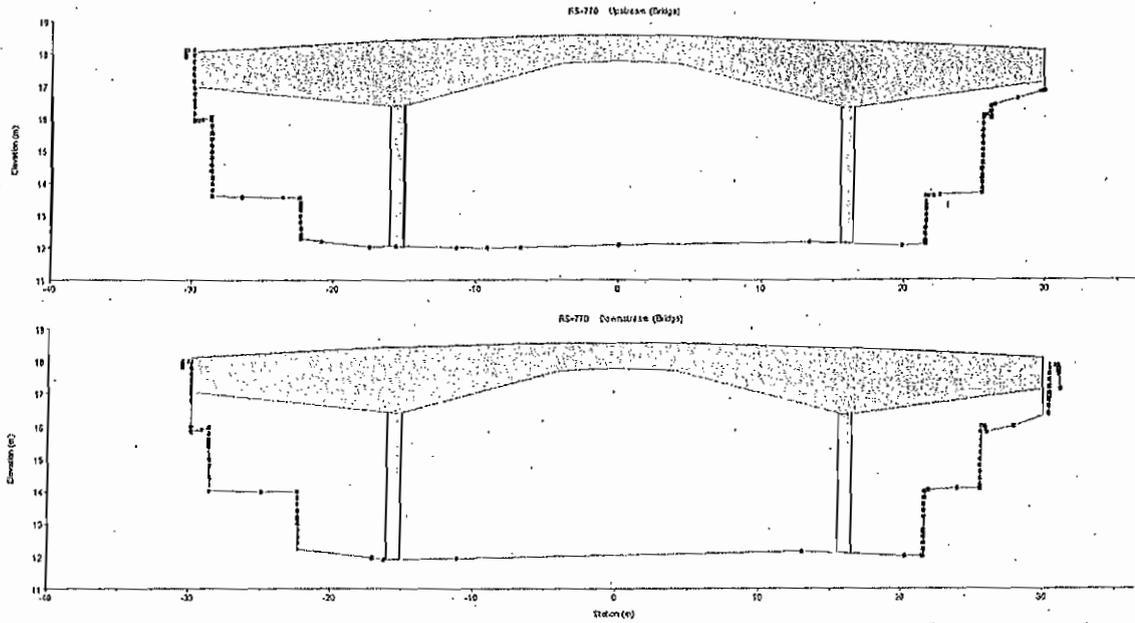


Fig. 17. Puente de la Av. Luis Buñuel. Estructura de aguas abajo.

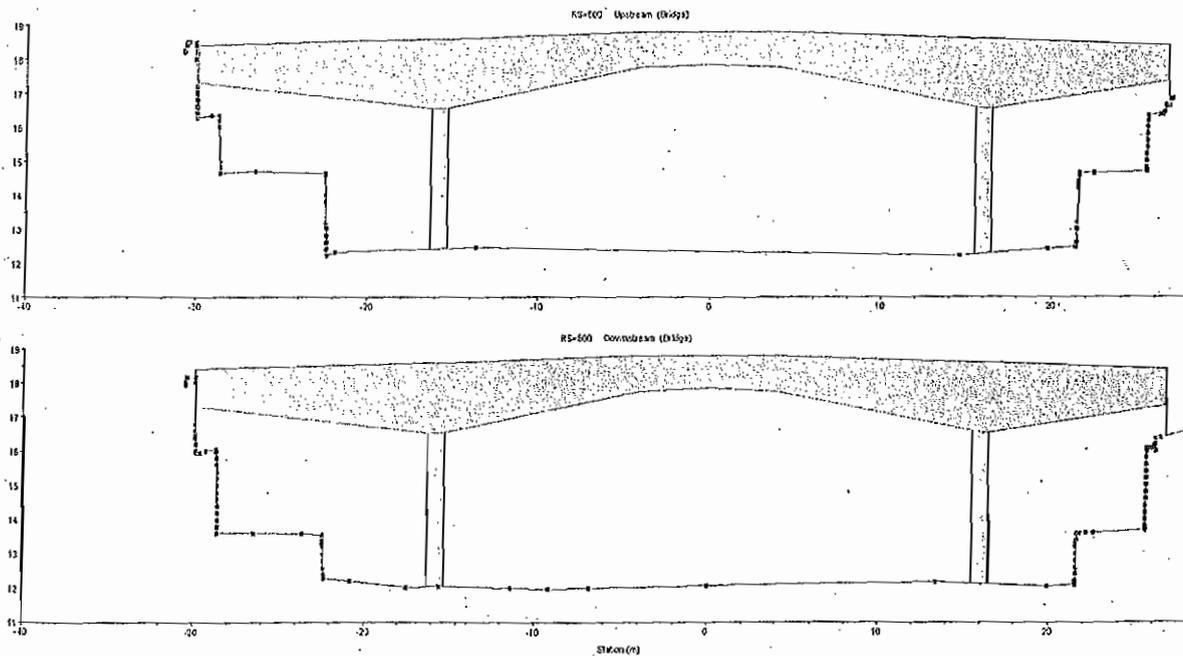


Fig. 18. Puente de la Av. Luis Buñuel. Estructura de aguas arriba.

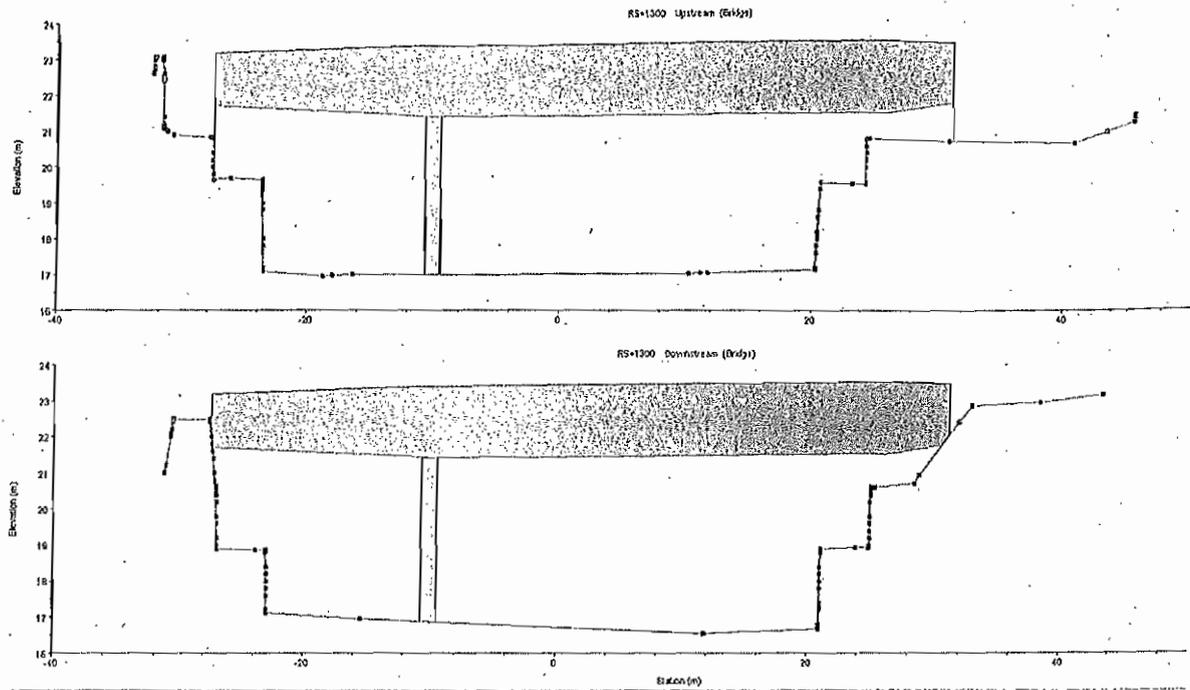


Fig.19 . Puente de Valle Inclán.

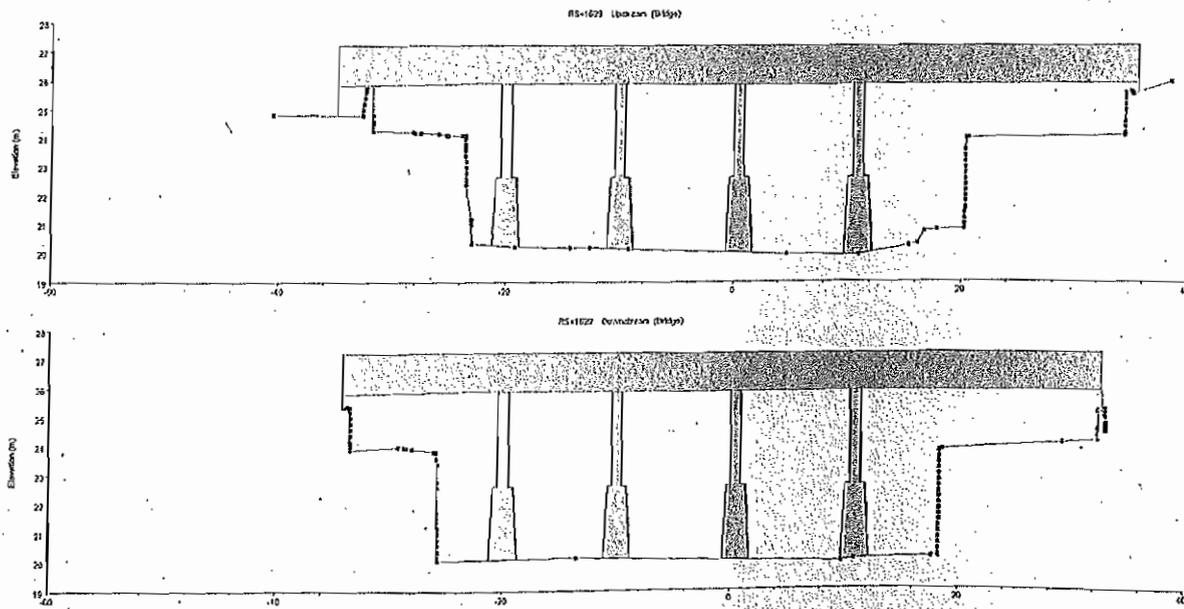


Fig. 20. Puente de la Palmilla.

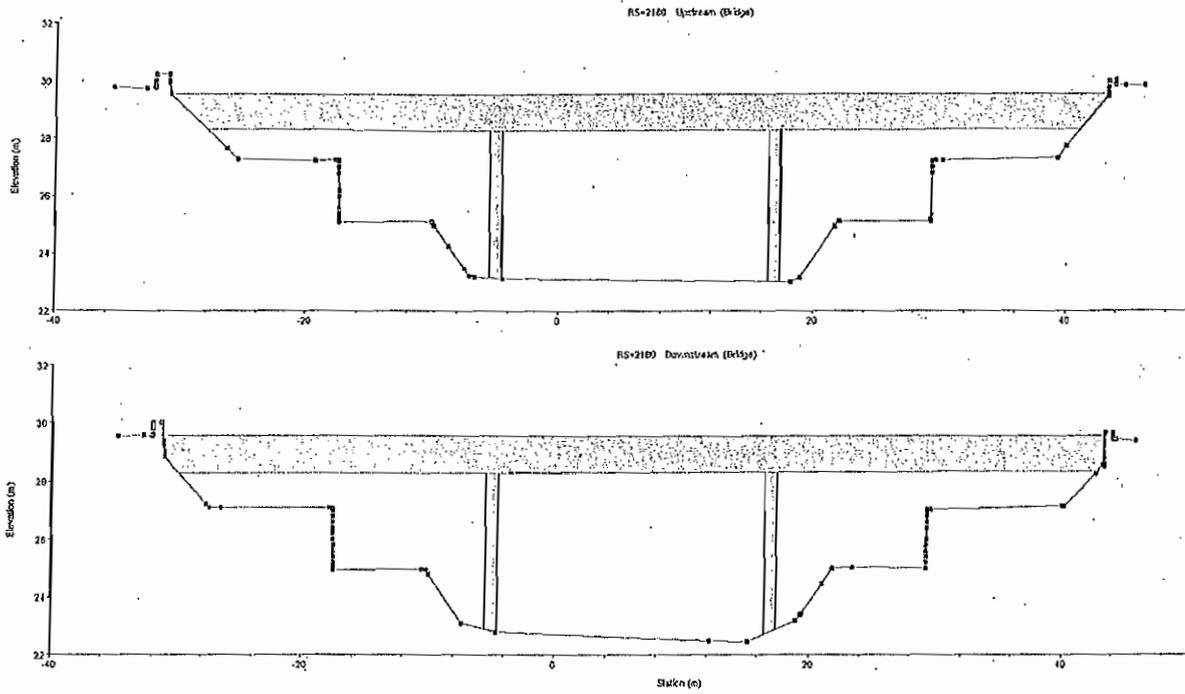


Fig. 21. Puente de la calle del Secretario Francisco Salcedo.

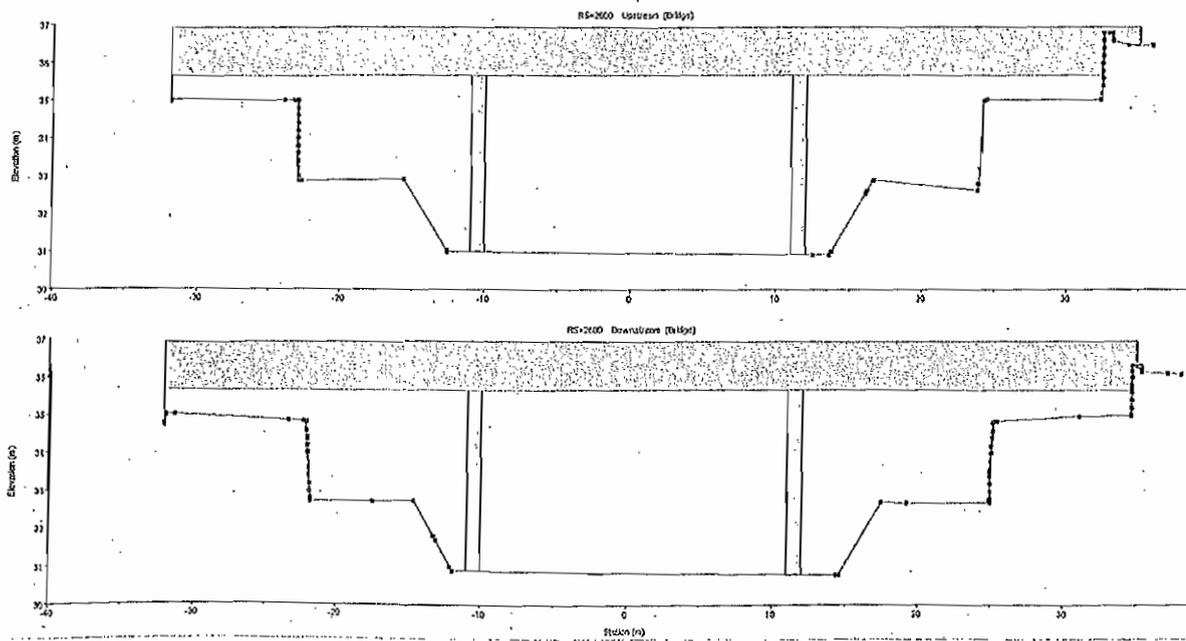


Fig. 22. Puente de la calle de Bruckner.

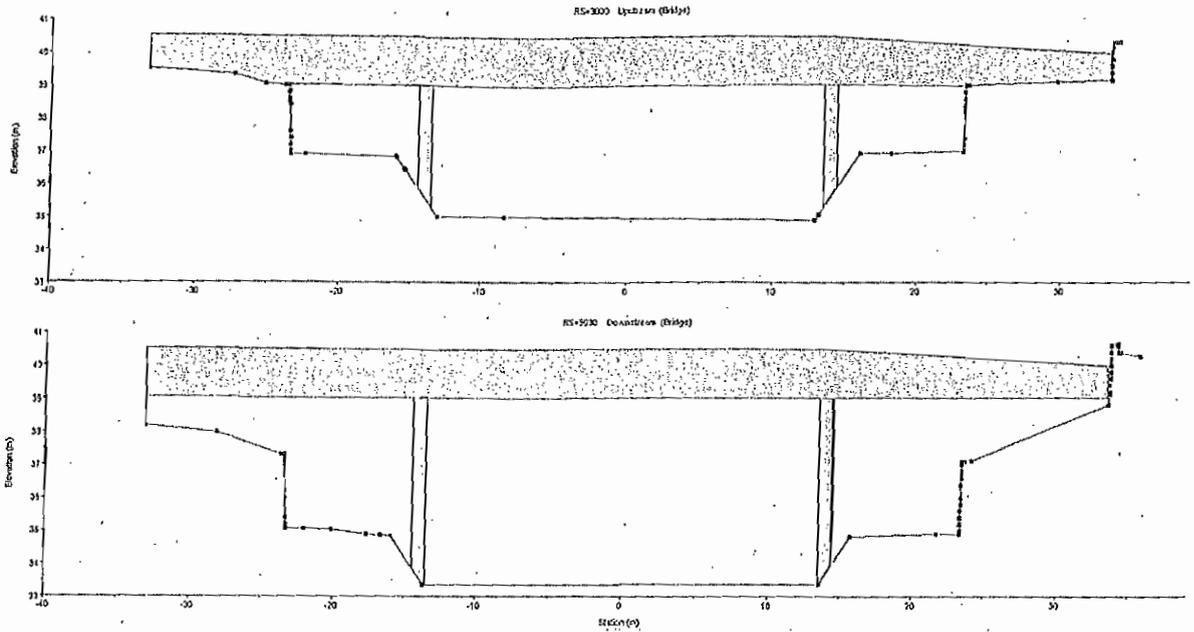


Fig. 23. Puente de la calle de Gounod.

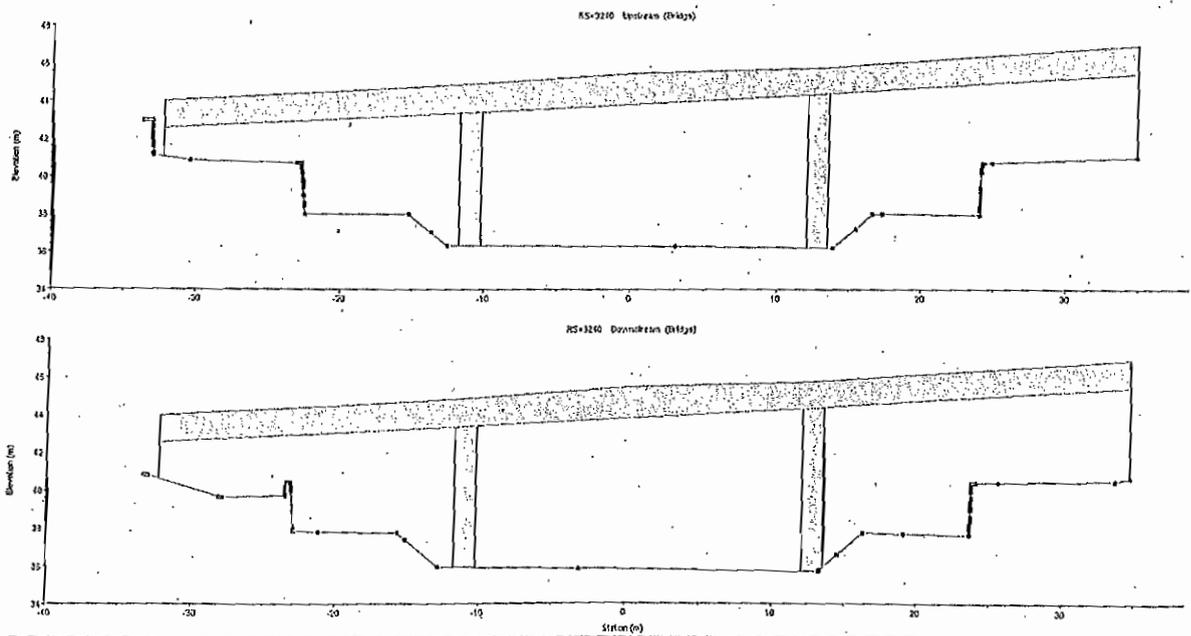


Fig. 24. Ramal de enlace de la A7 con la A-45.

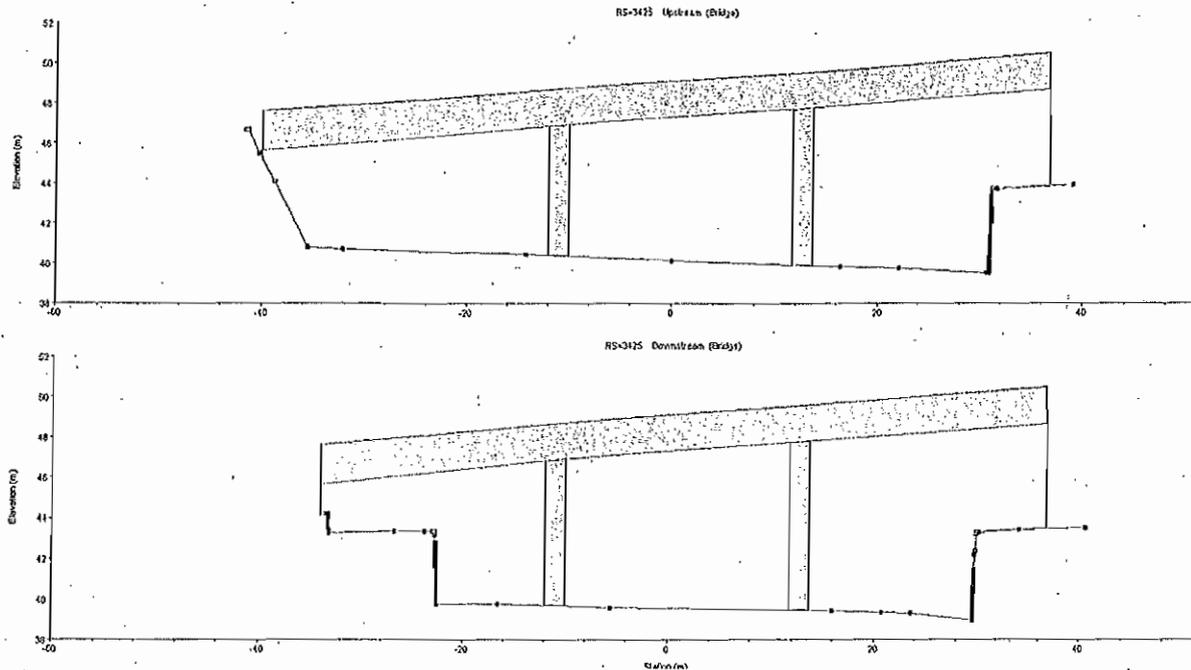


Fig. 25. Puente de la Autovía A7.

4.3. La experimentación

Se han simulado diferentes escenarios de caudal desde 100 hasta 600 m³/s. y se ha comprobado la capacidad del cauce para desaguar toda la gama de caudales estudiados sin desbordar las márgenes del encauzamiento existe.

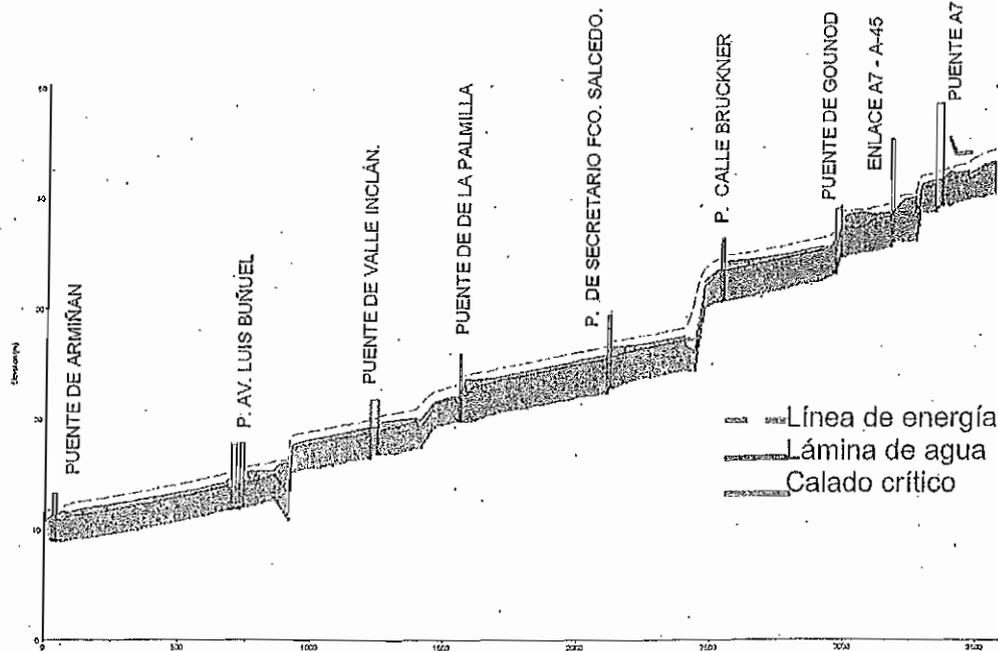


Fig. 26. Curva de remanso $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$. Desde el puente de Armuña, hasta la autovía A7. Sin desbordamientos, ni puesta en carga de ningún puente.

De acuerdo con los estudios anteriormente citados, la capacidad máxima de desagüe del tramo de encauzamiento situado aguas arriba del Puente de Armiñan es de $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Se ha comprobado que este caudal se desagua por el tramo de estudio, aguas arriba del Puente de Armiñan, sin desbordamientos ni puesta en carga de ningún puente, como puede apreciarse en la figura 27.

Se ha impuesto sección crítica en el azud del desarenador, como condición de contorno de aguas abajo. El funcionamiento se produce en la casi totalidad del encauzamiento en régimen lento, excepto en los azudes situados en solera donde se produce un lanzamiento del flujo para luego volver a régimen infracrítico tras formarse el correspondiente resalto.

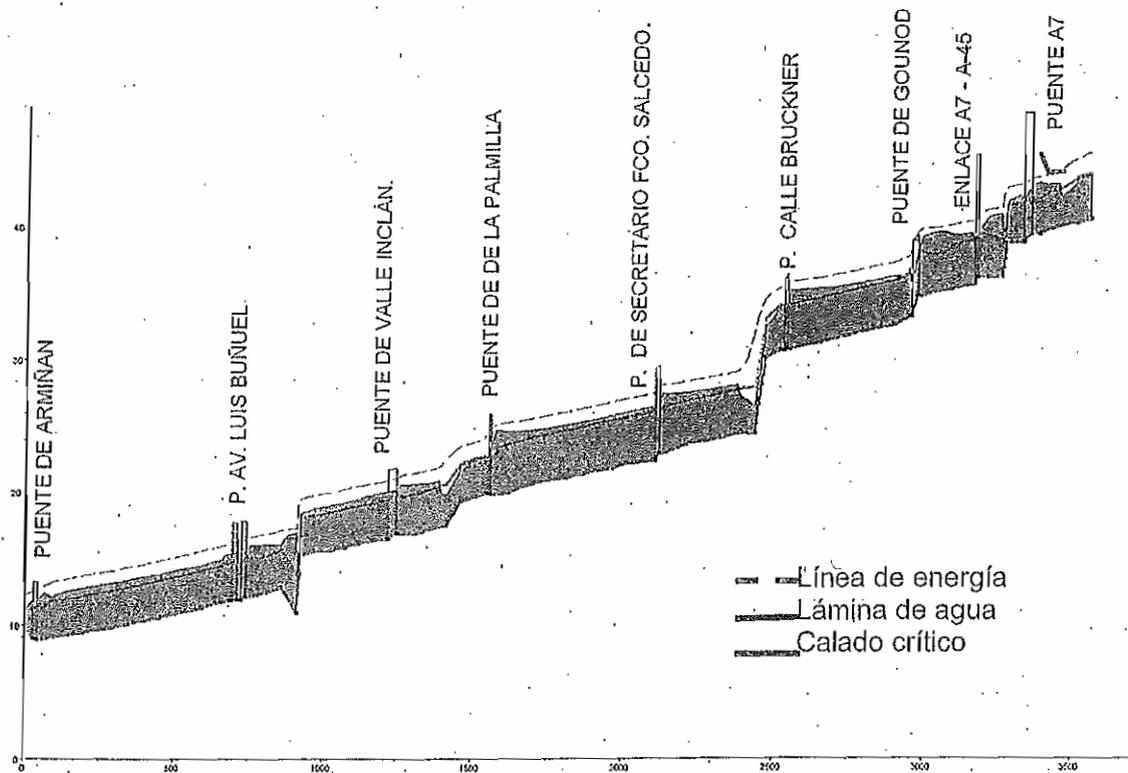


Fig. 27. Curva de remanso $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$. Desde puente de Armiñan, hasta la autovía A7. Sin desbordamientos ni puesta en carga de ningún puente.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se explicó en el apartado nº 1, el objetivo del presente Informe era doble:

1. Antecedentes y Estudios Previos: Recopilación y elaboración de las conclusiones de los estudios en modelo físico realizados, tanto respecto de la presa de El Limonero como del cauce del río Guadalmedina
2. Modelación numérica para determinar la capacidad hidráulica del cauce actual del río Guadalmedina a su paso por la ciudad de Málaga, teniendo en cuenta las condiciones actuales

De los estudios llevados a cabo en este trabajo para desarrollar tales objetivos pueden establecerse las siguientes conclusiones de carácter general:

ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS:

De los estudios previos realizados con anterioridad en el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos sobre el río Guadalmedina a su paso por la ciudad de Málaga, pueden destacarse las siguientes conclusiones:

1. Para el estudio hidráulico de la capacidad y el comportamiento del tramo final del encauzamiento del río Guadalmedina a su paso por la ciudad de Málaga, el CEDEX realizó en los últimos años de la década de 1980 y los primeros de 1990 una serie de ensayos en modelo físico a escala reducida, a resultas de los cuales se emitieron los cinco Informes siguientes:
 - a. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Avance de trabajo. Junio de 1989. Clave CEDEX 41-430-1-017
 - b. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Informe Parcial nº 1. Octubre de 1989. Clave CEDEX 41-430-1-017.
 - c. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Informe Final. Abril de 1990. Clave CEDEX 41-430-1-017.
 - d. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina II. Tramo entre los puentes de Armiñán y Tetuán. Informe Final. Enero de 1992. Clave CEDEX 41-491-1-026.
 - e. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina II. Tramo de aguas arriba del puente de Armiñán. Informe Final. Febrero de 1992. Clave CEDEX 41-491-1-026.

Todos ellos estaban basados en las conclusiones de los ensayos realizados sobre un modelo de lecho móvil, aportación sólida y con escala horizontal 1/75 y vertical 1/50. Para representar el material de fondo se utilizó carbón de densidad $1,75 \text{ T/m}^3$ y para modelar la escollera se empleó caliza de $2,65 \text{ T/m}^3$. Los cinco informes citados anteriormente se adjuntan en un anexo de este Informe.

2. Los datos hidrológicos y sedimentológicos que se utilizaron en los modelos físicos estudiados en el CEDEX fueron suministrados por la entonces Confederación



Hidrográfica del Sur. En particular, el caudal de diseño fue fijado en 600 m³/s (conforme al hidrograma de referencia indicado en el apartado 2 de este Informe), correspondiendo a 400 m³/s de avenida de laminación de la presa del Limonero (periodo de retorno de 1.000 años) más 200 m³/s de caudal generado aguas abajo de la presa (hidrología urbana).

Durante el periodo de tiempo de redacción del presente Informe, no se ha dispuesto de nuevos informes hidrológicos diferentes a los anteriores. Únicamente cabe destacar el hecho de que la Agencia Andaluza del Agua remitió al CEDEX el documento: "Embalse de El Limonero. Estudio de la laminación de la PMF" (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente; CH Sur; octubre de 1995) cuyo contenido versa sobre un estudio de soluciones para incrementar la capacidad de laminación de dicho embalse, no constituyendo en consecuencia un estudio hidrológico como tal.

3. Como principales conclusiones de dichos estudios, puede establecerse que, de acuerdo con los ensayos realizados en modelo físico, la capacidad del encauzamiento puede fijarse aproximadamente en 600 m³/s.

El diseño de la trampa de áridos puede considerarse como suficiente, para retener el árido transportado en arrastre por la avenida de 600 m³/s, siempre que ésta se encuentre libre de materiales. En consecuencia, es imprescindible un adecuado mantenimiento y limpieza de la misma.

4. Es importante destacar que los estudios a que se hace referencia en la conclusión nº 1 se realizaron entre los años 1988 y 1992, previamente a la construcción de las obras en ellos estudiados. No se tiene garantía de que la situación actual del encauzamiento coincida con las soluciones propuestas o bien de que se hayan realizado nuevas obras en el encauzamiento que puedan afectar a su capacidad de evacuación de avenidas. De hecho, y a título de ejemplo de lo anterior, algunos de los puentes que se consideraron en dichos estudios únicamente estaban definidos a nivel de proyecto en aquel entonces, sin que se tenga constancia de que se hayan construido tal como estaban proyectados.

También son especialmente relevantes a este respecto, las posibles modificaciones que se hayan realizado en la obra de desembocadura del río Guadalmedina respecto al diseño original, pues podrían alterar de manera importante la capacidad del encauzamiento.

En consecuencia, hay una cierta incertidumbre sobre la capacidad real y efectiva del encauzamiento actual del río Guadalmedina a su paso por la ciudad de Málaga, habida cuenta de las posibles modificaciones que puedan haberse realizado respecto a los estudios en modelo reducido realizados en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX.

MODELACIÓN NUMÉRICA DEL RÍO GUADALMEDINA

Como consecuencia de lo anterior, se consideró necesario realizar una modelación matemática del encauzamiento del río Guadalmedina a su paso por la ciudad de Málaga, teniendo en cuenta la geometría exacta de la actuación realmente construida en el tramo del encauzamiento. De dicha modelación matemática pueden destacarse las siguientes conclusiones:



5. La modelación numérica realizada ha sido de carácter unidimensional, habida cuenta del carácter longitudinal del río estudiado. El modelo empleado ha sido el HEC-RAS, y los cálculos se han realizado en lecho fijo y en régimen permanente. El tramo objeto de análisis ha sido el comprendido entre la presa del Limonero y el puente de Armiñan, (pues es en este tramo en donde se localizan las diferencias entre los modelos estudiados en su momento en el Laboratorio de Hidráulica y lo realmente ejecutado).

No ha habido comunicación por parte de la Agencia Andaluza del Agua sobre posibles modificaciones que haya sufrido la obra de desembocadura del río Guadalmedina respecto al diseño original, de manera que se ha supuesto la solución inicial.

6. El resultado de la modelización matemática muestra que el cauce existente tiene capacidad para desaguar $600 \text{ m}^3/\text{s}$ sin desbordar ni poner en carga ningún puente. Esta comprobación se ha realizado suponiendo que el lecho del cauce sea fijo; si se quisiera comprobar la influencia del posible arrastre de fondo y la validez de las actuales obras de estabilización de la pendiente del fondo, sería recomendable realizar una modelación en lecho móvil.

6. EQUIPO ENCARGADO DE LA REALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

Además de los abajo firmantes, ha formado también parte del equipo encargado de la elaboración de este Informe la funcionaria del Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX D^a Cristina de Miguel y Goñi Ingeniero Técnico de Obras Públicas .y D. Miguel de Blas Moncalvillo (Personal Investigador Contratado).

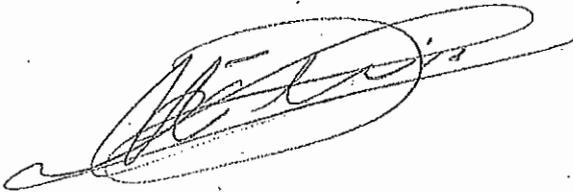
Madrid, septiembre de 2010

El Director del trabajo,



D. David López Gómez
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director de Programa

Examinado y conforme,



D. Victor Elviro García
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Consejero Técnico.

Examinado y conforme,



D. Luis Balairón Pérez
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director del Laboratorio de Hidráulica



ANEXO
INFORMES TÉCNICOS EMITIDOS POR EL CEDEX



ANEXO- INFORMES TÉCNICOS EMITIDOS POR EL CEDEX

Se adjuntan como Anexo a este Informe, los siguientes Informes Técnicos emitidos por el CEDEX relativos al estudio hidráulico del río Guadalmedina a su paso por la ciudad de Málaga:

1. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Avance de trabajo. Junio de 1989. Clave CEDEX 41-430-1-017
2. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Informe Parcial nº 1. Octubre de 1989. Clave CEDEX 41-430-1-017.
3. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina. Informe Final. Abril de 1990. Clave CEDEX 41-430-1-017.
4. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina II. Tramo entre los puentes de Armiñán y Tetuán. Informe Final. Enero de 1992. Clave CEDEX 41-491-1-026.
5. Estudio en modelo reducido del encauzamiento de río Guadalmedina II. Tramo de aguas arriba del puente de Armiñán. Informe Final. Febrero de 1992. Clave CEDEX 41-491-1-026.