

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 PARCIAL Nº 1

TOMO UNICO

Para

**DIRECCION GENERAL DE OBRAS
HIDRAULICAS**
Confederación Hidrográfica del Sur

CLAVE CEDEX-41-430-1-017

Madrid, Octubre 1989

Centro de Estudios Hidrográficos

TITULO:

**ESTUDIO EN MODELO REDUCIDO
DEL ENCAUZAMIENTO DEL RIO
GUADALMEDINA****INFORME PARCIAL Nº 1****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

	Pág.
1. ANTECEDENTES	1
2. LA OBRA	3
3. EL MODELO. ESCALAS Y LEYES DE SEMEJANZA	7
4. SOLUCION PROYECTO	9
4.1. Ensayos	9
4.2. Conclusiones	11
5. MODIFICACIONES DE LA SOLUCION PROYECTO	14
5.1. Ensayos	14
5.2. Conclusiones	15
6. SOLUCION PROPUESTA	17
6.1. Tanteos previos.....	17
6.2. Solución Propuesta. Definición de la obra ..	18
6.3. Ensayos	20
6.4. Conclusiones	22
7. CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES	24

FOTOGRAFIAS

- 1 a 12 - Solución Proyecto
- 13 a 16 - Solución Propuesta

GRAFICOS

- 1 - LAMINAS DE AGUA
- 2 - LAMINAS DE AGUA. SOLUCION PROPUESTA ENTRE P-11 Y P-18
- 3 - PUENTE DE VENDEJA

PLANOS

- 1 - PLANTA GENERAL P-1 A P-18
- 2 - PERFIL LONGITUDINAL
- 3 - PERFILES TRANSVERSALES 1 A 6
- 4 - PERFILES TRANSVERSALES 7 A 12
- 5 - PERFILES TRANSVERSALES 13 A 17
- 6 - PERFILES TRANSVERSALES 18
- 7 - SOLUCION PROPUESTA. PLANTA GENERAL P-1 A P-18
- 8 - SOLUCION PROPUESTA. PERFIL LONGITUDINAL
- 9 - SOLUCION PROPUESTA. PERFILES TRANSVERSALES 1 A 6
- 10- SOLUCION PROPUESTA. PERFILES TRANSVERSALES 7 A 12
- 11- SOLUCION PROPUESTA. PERFILES TRANSVERSALES 13 A 18
- 12- SOLUCION PROPUESTA. SALTO EN P-11. DETALLE

MEMORIA

**INFORME PARCIAL 1 SOBRE EL ESTUDIO EN MODELO REDUCIDO DEL
ENCAUZAMIENTO DEL RIO GUADALMEDINA.**

1. ANTECEDENTES

El Excmo. Ayuntamiento de Málaga ha presentado un Proyecto de dragado y modificación del encauzamiento del tramo urbano del río Guadalmedina, a fin de que le sean autorizadas las correspondientes obras por la Confederación Hidrográfica del Sur.

Dada la magnitud de las obras, y las modificaciones introducidas en el cauce actual así como las dudas surgidas sobre la precisión del cálculo hidráulico en modelo matemático de dicho proyecto, se ha impuesto la condición para autorizar las obras de que la solución, o cualquier otra que pudiera presentarse, vayan avaladas por un ensayo previo en modelo físico reducido.

La Confederación Hidrográfica del Sur se dirigió al Centro de Estudios Hidrográficos para solicitar que, por su Laboratorio de Hidráulica, se realizase dicho estudio por entender que dicho Organismo, perteneciente al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), es el más adecuado para resolver el presente caso.

Surge por tanto un Convenio entre la Dirección General de Obras Hidráulicas y el CEDEX para efectuar por el Laboratorio de Hidráulica del C.E.H. los estudios y ensayos en modelo físico tridimensional.

Como consecuencia de dicho Convenio, y una vez efectuados los ensayos desde el puente de Tetuan hasta la desembocadura, se redacta este "Informe Parcial 1 sobre el estudio en modelo reducido del encauzamiento del río Guadalmedina".

EQUIPO ENCARGADO DEL ESTUDIO:

Victor Elviro García, Ing. de Caminos, Caneles y Puertos.

Juan A. Berges Acedo, Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

José Luis García Ramos, Ingeniero de Telecomunicaciones

Rafael López Ligar, Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones.

2. LA OBRA

El Convenio entre la D.G.O.H. y el CEDEX propone el estudio de aproximadamente los últimos 3000 m. de encauzamiento del río Guadalmedina. Dado el carácter urgente de la obra se decide ensayar en esta primera fase los últimos 850 m. que van desde el puente de Tetuán hasta la desembocadura.

El proyecto de dragado y acondicionamiento del encauzamiento está definido en las hojas de planos nº 1 a 6. El río se encuentra dividido en dos zonas, una desde el P-11 hasta la desembocadura, de influencia marítima, y la otra desde el P-11 al P-18. En la primera la solera va desde la cota -0,1 hasta la -1,0, estando formada por una escollera de 15 cm. y las protecciones de los muros son de escollera presumiblemente colocada en lugar de vertida. Ver fotografías 1 a 6.

El río es cruzado en esta zona por los siguientes puentes: Pescadería, Ferrocarril (modificando en planta su situación actual), Heredia (proyecto) y Carmen.

En el perfil 11 se sitúa un salto que independiza las dos zonas. Desde el P-11 al P-18 la solera es de escollera de 25 cm. cubierta de material vegetal ornamental. Los cajeros

están protegidos mediante escalones de hormigón.

En esta zona hay dos puentes en proyecto (Salitre y Vendeja) y el de Tetuan actualmente en servicio.

El proyecto supone lecho estable en todo el cauce y que la lámina de agua no toque los puentes tanto para el caudal máximo como para posibles casos de régimen transitorio.

En todo este tramo se supone que la aportación sólida en arrastre es despreciable, ya que todo el material sólido es retenido aguas arriba.

La obra se dimensiona para 600 m³/seg., y con dos hipótesis referidas a la cota del mar, pleamar a la cota +2 y bajamar a la cota -0,5. El conjunto de las tres condiciones se deben suponer extremas, comprobando el funcionamiento satisfactorio del cauce sin que se produzcan daños que puedan afectar a la capacidad del cauce y estabilidad de la obra.

Como ya se ha mencionado, el río se ve afectado por diversos puentes, algunos construidos, otros en proyecto y otros que estando construidos serán sustituidos por otras estructuras.

En el modelo se han reproducido los puentes anteriormente

citados, cuya posición en planta está reflejada en la hoja de planos nº 1 y la cota de los tableros en la nº 2. Sus características son las siguientes:

- Puente de Pescadería, construido, con dos pilas centrales formadas por una viga continua de hormigón de 1,50x1,50 apoyada en tres columnas de 1 m de diámetro.
- Puente del Ferrocarril, en proyecto, trasladando de posición el puente actualmente construido. No tiene pilas.
- Puente de Heredia, en proyecto y no dispone de pilas.
- Puente del Carmen, construido, se apoya en dos pilas centrales continuas de 1,55 m de ancho, aunque en prototipo el ancho no es uniforme; lo que requiere mayor cuidado es la posible cimentación.
- Puente de Salitre, en proyecto, puente sin pilas pero con apoyo en los estribos que afectan al flujo.
- Puente de Vendeja, en proyecto. No se dispone del proyecto definitivo de este puente, podría llevar una o dos pilas y el tablero estaría siempre por encima de la cota 5,25. Ver gráfico nº 3.

- Puente de Tetuan, construido en la actualidad pero al modificarse la sección del río en planta quedaría con una pila prácticamente central formada por ocho pilas rectangulares de vértices truncados, siendo el ancho de cada una de las pilas de 1,2 m.

3. EL MODELO. ESCALAS Y LEYES DE SEMEJANZA

Aunque en esta primera fase no se contempla el estudio de arrastre sólido, para el ensayo en su conjunto el modelo se proyecta de fondo móvil.

Ante la posibilidad de aportación sólida, una vez fijada la característica de fondo móvil y dada la necesidad de medir con precisión los niveles de agua, unido a los condicionantes de espacio disponible en el Laboratorio, se proyecta un modelo con distorsión de escala, fijando como escala horizontal 1/75 y vertical 1/50, utilizando como criterio de representatividad la semejanza de Froude.

Adoptadas estas escalas, las correspondientes el resto de las magnitudes representativas son las siguientes:

Longitud	$Lê = 75$
Altura	$hê = 50$
Volumen	$Vê = 281250$
Velocidad	$vê = 7,07$
Tiempo	$tê = 10,618$
Caudal	$Qê = 26516,5$
Rugosidad	$nê = 1,57$
nº Reynolds	$Rê = 353,5$

Para esta primera fase se decidió aplicar el criterio de igualdad de densidades del material empleado en el lecho del río, comprobando primeramente la estabilidad del material de fondo para posteriormente comprobar los niveles aplicando el criterio de rugosidad. Una vez adoptada la solución final se comprueba con estos niveles la estabilidad del material.

En todos los casos se comprueba que tanto el número de Reynolds del flujo como el número de Reynolds de arrastre tienen valores suficientemente altos.

La alimentación del caudal líquido se realiza mediante partidador, lo que permite, no solamente alimentar con un caudal fijo sino también reproducir todo tipo de hidrogramas.

Las cotas en el mar son reguladas mediante un juego de vertederos y válvulas que permiten fijar la cota deseada, medida mediante un limnómetro convenientemente dispuesto.

Para medir niveles se utilizan limnógrafos conectados con un ordenador central que permite detectar todo tipo de ondas. Los limnógrafos están dispuestos en los perfiles 1,2,3,5,7,10,11,12,14,15,16,18 y 20 de forma permanente, aunque en algún momento pueden ser colocados en otros puntos para medir fenómenos locales.

4. SOLUCION PROYECTO

4.1. Ensayos

El Laboratorio ha ensayado la Solución Proyecto definida en las hojas de planos nº 1 a 6 con la única salvedad de la pasarela entre el puente del Carmen y el P-11.

Para reproducir el árido representativo de la escollera se utiliza la escala de rugosidades, dada la hipótesis impuesta por el proyectista de lecho fijo en todo el cauce, para que una vez comprobados los niveles en el mismo sustituir el material por otro representativo de la escollera proyectada según la escala de arrastres, estudiándose entonces la estabilidad del lecho.

Durante la experimentación con 600 m³/seg. y bajamar (cota -0,5) se observa que el río está muy por encima del mar y al llegar a éste se produce una fuerte aceleración, poniéndose el flujo en régimen rápido; la sección de régimen crítico no está fija, en principio se forma en el puente de Pescadería y a medida que se arrastran los materiales del fondo se va desplazando hacia aguas arriba. Es de destacar el claro estrechamiento que se produce en la desembocadura debido a la escollera y que unido al puente citado crea una zona cuyos

efectos en el flujo son claramente perniciosos.

El agua no llega a tocar los puentes de Ferrocarril y del Carmen a pesar de que en la caída provocada en el P-11 se produce un resalto ondulado cuyas ondas se acentúan a medida que el lecho va formando dunas. Resumiendo, el material del fondo, escollera de 15 cm, es claramente arrastrado como consecuencia del resalto y la desembocadura, produciéndose también arrastres localizados en las pilas del puente del Carmen.

En la zona del resalto se observan además ondas producidas por los cajones laterales que pueden ser disminuidas trasladando la transición de hormigón a escollera hacia aguas abajo.

Entre el perfil P-11 y el P-18 el fondo está constituido por escollera de 25 cm sobre la que se coloca tierra vegetal con césped; la escollera tiene carácter resistente y la capa superior ornamental, siendo esta última arrastrada por el agua de una avenida significativa. No está aquí de mas recordar la necesidad de filtros que tienen todas las escolleras para un correcto funcionamiento ya que el arrastre de material fino subyacente puede ser importante sobre todo para escollera de granulometría cerrada o uniforme.

En este tramo la escollera es en general estable, ante lo cual se procedió a su comprobación según la escala de rugosidades. En este caso la lámina de agua alcanza al puente de Vendeja. Por otro lado el agua toca a los estribos del puente de Salitre produciéndose dos ondas estables que se trasladan hacia aguas abajo del salto y confluyendo en el centro del cauce al final de dicho salto. Si ello es posible, sería beneficioso modificar los estribos del puente de forma que no interfiriese con el flujo, aunque dada la forma de las ondas no se considera necesario.

4.2. Conclusiones

La denominada Solución Proyecto se ha ensayado para caudales de 100, 200, 400 y 600 m³/seg. El comportamiento del encauzamiento para 100 y 200 m³/seg. es plenamente satisfactorio, iniciándose para este último caudal un proceso de barrido y formación de fosa a la salida de la caída situada en el P-11. Ver fotografías nº 7 y 8.

Para 400 m³/seg. se observa un comportamiento satisfactorio aguas arriba del P-11. En la caída el movimiento de árido es mas generalizado, permaneciendo el árido estable en el resto del encauzamiento hasta el puente de Pescadería desde donde se produce movimiento generalizado del fondo. Así mismo hay

movimientos locales en las pilas del puente del Carmen.

De los ensayos realizados para 600 m³/seg., ver fotografías 9 a 12, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. Entre el P-1 y el P-11 la escollera de 15 cm. utilizada no es estable, produciéndose fuertes arrastres, debido fundamentalmente a las siguientes causas:

a - Paso de régimen lento a régimen rápido en la zona de la desembocadura.

b - Estrechamiento producido por la escollera de protección de los cajeros entre los perfiles 1 a 3.

c - Pilas en los puentes de Pescadería y el Carmen.

d - Resalto ondulado producido aguas abajo del P-11.

2. Dado que los niveles observados son aceptables, las modificaciones se encaminaron en una primera fase a fijar la solera comprobando entonces la variación de los niveles.

3. El resalto es de tipo ondulado con un número de Froude de 1,25, no siendo posible un cuenco de resalto que anule las

- ondas. La solución es proteger con escollera de forma que no se produzcan dunas en el lecho, disipandose la energía a lo largo del cauce, lo que disminuirá notablemente el tamaño de las ondas.
4. En el tramo comprendido entre los perfiles P-11 a P-18 la escollera de 25 cm. proyectada es estable. Los niveles máximos alcanzados por el agua superan la cota 5,0 a la que se proyecta el puente de Vendeja. Existe interferencia de la lámina de agua con los estribos del puente de Salitre produciendo ondas que se trasmiten aguas abajo.
 5. La interferencia producida por el puente de Salitre no se considera perjudicial. Con aguas limpias y anclando suficientemente el puente de Vendeja la solución sería aceptable, ahora bien ante la certeza de arrastres de troncos y brozas durante el paso de la avenida de 600 m³/seg. se considera necesario introducir un margen de seguridad superior, de forma que se reduzcan los niveles de agua en el puente. Para ello se propone modificar la pendiente general de este tramo así como modificar localmente la sección en planta de acuerdo con las nuevas modificaciones introducidas en el proyecto.

5. MODIFICACIONES A LA SOLUCION PROYECTO

5.1. Ensayos

Todas las modificaciones fueron encaminadas, en principio, a fijar el lecho desde el P-11 hasta el mar. El proceso se inició disponiendo protecciones en la menor cantidad posible hasta llegar a una solución en la cual el lecho sea estable.

En un primer paso se inicia la experimentación manteniendo el perfil longitudinal de la Solución Proyecto y disponiendo azudes en la desembocadura a diversas cotas, pero ninguno de ellos evita las erosiones en el puente de Pescadería. En este proceso se llega a disponer de una escollera de suficiente tamaño implantada desde el perfil P-2 hasta aguas abajo del P-1.

Se dispone también una escollera en el puente del Carmen así como aguas abajo del salto.

La protección no llega a ser totalmente estable, pero dadas las condiciones extremas con las que se ensaya podría ser admisible el grado de estabilidad del lecho, pero ocurre que los niveles suben notablemente y ponen en carga los puentes del Ferrocarril y del Carmen. No olvidemos que también hay que comprobar el cauce con pleamar a la cota +2,0.

El aumento de la pendiente entre los perfiles 11 y 18 está limitado por las condiciones de arrastre del material, por un lado, y por el otro por las necesidades de drenaje de los estanques de aguas arriba.

5.2. Conclusiones

Entre la desembocadura y el P-11:

Una vez efectuados ensayos con muy diversas soluciones manteniendo el ancho y el perfil longitudinal del lecho propuesto, así como la cota de los puentes, no es viable encontrar una solución que cumpla las siguientes condiciones:

a - Lecho fijo de escollera.

b - El agua no alcanza los puentes.

Todo ello para el caudal de proyecto (600 m³/seg) y cotas en el mar de pleamar +2,0 y bajamar -0,5 m.

Por lo tanto el Laboratorio, manteniendo las condiciones anteriores, propone, una vez consultada la Confederación Hidrográfica del Sur, introducir modificaciones en la pendiente del río ya que ninguna de las otras variables,

incluidas las que definen los puentes pueden ser modificadas.

Entre P-11 y P-18:

El condicionante de este tramo es el puente de Vendeja, la solución proyecto sería aceptable si no existiese dicho puente. Para reducir los niveles en el puente se aumenta la pendiente y se modifica el cajero de la margen izquierda entre los puentes de Vendeja y Tetuán, reproduciéndose en esta zona una nueva rampa de entrada al río propuesta por el proyectista.

6. SOLUCION PROPUESTA

6.1. Tanteos previos

Antes de llegar a la Solución Propuesta, lo primero que se intenta es dejar al río libre para que defina, sin aportación sólida, cual sería su perfil de equilibrio para el material de fondo dispuesto. La primera dificultad que aparece es que los 2,5 m. de de carrera de marea impuesta influye de forma notable en el comportamiento del río. En cualquier caso se observa fundamentalmente que el río está muy alto en relación al mar, además de intuir que el río es muy estrecho para la avenida de 600 m³/seg., por lo tanto para llegar al perfil de equilibrio del río habría que proyectar un dragado de gran cuantía no compatible con la estabilidad de los muros.

Se adopta una solución de compromiso aumentando la excavación proyectada, la pendiente del río y el tamaño de la escollera de protección del lecho.

Junto con estas modificaciones se introducen otras tendentes a mejorar el funcionamiento del flujo.

Entre los perfiles 11 y 18 se introduce la nueva sección tipo

propuesta por el proyectista que disminuye algo la rugosidad del tramo.

6.2. Solución Propuesta. Definición de la obra.

La solución propuesta se encuentra definida en las hojas de planos nº 7 a 12. Ver fotografías nº 13 a 19.

La planta del río permanece tal y como la define el proyectista coincidiendo con el cauce actual salvo en la zona del puente de Tetuan. En la solución ensayada se tiene en cuenta una nueva rampa en la margen izquierda entre los puentes de Tetuan y Vendeja, lo que unido a la necesidad de disminuir los calados en la zona de este último puente origina una modificación en planta del cajero en toda esta zona. La definición de la planta se encuentra reflejada en la hoja de planos nº 7.

El perfil longitudinal (hoja nº 8) se modifica en el sentido de un descenso general mas acusado entre los perfiles 1 y 11 que entre este último y el P-18, permaneciendo este perfil invariable.

Las escolleras de protección son modificadas de acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos estando definida en

los planos anteriormente mencionados. No obstante se considera necesario hacer algunas puntualizaciones.

La protección de los puentes es función, además de otros factores, del ancho de la pila. Dada la excavación proyectada aun no está totalmente definida la situación final en que quedarán algunas de ellas. Con las pilas reproducidas en modelo vemos que el puente de Pescadería no necesita una protección especial disponiendo solamente de una escollera seleccionada y colocada en la zona de pilas. El puente del Carmen puede presentar una gran diferencia entre modelo y prototipo por la que recomendamos una protección continua de escollera de 50 cm. de diámetro cuidando su colocación de forma que cada piedra quede por debajo del nivel correspondiente al perfil teórico. En el puente de Vendeja se proyecta una protección continua con escollera de 50 cm, ver gráfico nº 3. El puente de Tetuán se protege con escollera seleccionada y colocada de 25 cm.

El tramo entre el P-11 y el P-18 presenta en el lecho una discontinuidad entre hormigón y escollera. Consideramos muy necesario cuidar esta discontinuidad disponiendo de una pieza de suficiente tamaño como separación de ambas zonas y cuidando la puesta en obra de la escollera que debería ser seleccionada y colocada. En la zona próxima al P-18 para mayor seguridad se debería disponer junto al hormigón de una

escollera de 50 cm y una transición a 25 cm.

En el modelo no se han reproducido las pasarelas proyectadas entre el puente del Carmen y el P-11 al no considerar su efecto hidráulico significativo. No obstante, y a efectos de seguridad recordamos que para avenidas importantes quedan por debajo del nivel del agua.

6.3. Ensayos.

Los ensayos se realizan para caudales de 100, 200, 400 y 600 m³/seg. Ver fotografías nº 20 a 26.

En el gráfico nº 1 podemos observar la lámina de agua, tanto en bajamar como en pleamar, para la gama de caudales ensayados. Vemos que el río sigue discurriendo con cotas superiores a la del mar que se iguala solamente en cotas cercanas a pleamar. El fuerte gradiente que se produce en bajamar se traduce en altas velocidades que afectan a la zona de la desembocadura, a pesar de haber aumentado la sección en esta zona al disminuir la protección de escollera de los muros, notándose muy favorablemente esta modificación en el comportamiento hidráulico. Recordemos que las láminas dibujadas se correspondan con los máximos dados en modelo e incluyen todo tipo de ondas.

La escollera definida en esta solución es estable en los subtramos situados entre los puentes. La estabilidad de la protección de los propios puentes está condicionada a la coincidencia entre lo dispuesto en modelo y prototipo, no obstante las protecciones definidas serían suficientes de acuerdo con los datos disponibles.

Una vez reproducido en modelo el tramo de aguas arriba del P-18 así como introducidas las modificaciones propuestas tanto en planta como en alzado se obtienen las láminas de agua entre los perfiles P-11 y P-18 de la solución propuesta, ver gráfico nº 2. Como vemos en el puente de Vendéja hay unos 25 cm. de resguardo, ahora bien, mientras que en la zona libre del puente este resguardo es superior, ya que la lámina de agua dibujada incluye ondas y fenómenos similares, en la zona de pilas la lámina de agua sube notablemente por el efecto de parada alcanzando al tablero del puente.

Cualquiera de las dos soluciones reflejadas en el gráfico nº 3 es admisible, debiendo estar previsto en el dimensionamiento también esfuerzos dinámicos hacia arriba, así como cuidar el paso de troncos y maleza, consideración esta última que se debe extender al resto de los puentes.

Finalmente como la situación del fondo marino puede variar en el tiempo y originarse una barra, se ha considerado oportuno

ensayar al menos una situación de este tipo entre las muchas posibles. Para ello en el modelo se simula una barra con arena, cerrando toda la desembocadura, con un ancho de 15 m y a la cota 0,5. La cota se fija a partir de lo que se aprecia en algunas fotografías sin que ello prejuzgue que situaciones meteorológicas especiales pueden originar una barra completamente distinta.

El ensayo no tiene en cuenta el grado de consolidación de la barra y se hace pasar un hidrograma de 9 horas con caudal punta de 600 m³/seg., observándose un barrido parcial de la barra así como sobreelevaciones en la lámina de agua sin llegar a tocar los puentes. No obstante, como mantenimiento de obra debe estar prevista la eliminación inmediata de cualquier barra, no permitiéndose en ningún caso la consolidación de la misma.

6.4. Conclusiones

A la vista de las láminas de agua reflejados en los gráficos 1 y 2 se puede observar que no existe peligro alguno de desbordamiento en todo el tramo. Existe resguardo en todos los puentes aunque sea reducido en alguno de ellos, hidráulicamente esto no es ningún inconveniente aunque estructuralmente deba tenerse en cuenta los esfuerzos dinámicos que puedan producirse.

La estabilidad de las diferentes escolleras propuesta está asegurada debiendose cuidar fundamentalmente las zonas de discontinuidad entre hormigón y escollera.

7. CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio es un informe sobre la primera fase del encauzamiento del río Guadalmedina correspondiente a los 850 m. finales de acuerdo con el convenio suscrito entre la Dirección General de Obras Hidráulicas y el CEDEX, titulado "Encauzamiento 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) Este informe recoge solamente los estudios y ensayos relativos a los últimos 850 m. de encauzamiento, básicamente desde el puente de Tetuán hasta el mar, teniendo el carácter de final.
- 2) El modelo se proyecta de fondo móvil y aportación sólida con objeto de poder reproducir los fenómenos de movimiento general de fondos en la zona superior del río. Se construye de acuerdo con las siguientes escalas: horizontal 1/75, vertical 1/50.
- 3) La obra se dimensiona para un caudal punta de 600 m³/seg. con dos hipótesis referidas a la cota del mar, pleamar a la cota +2 y bajamar a la cota -0,5. Se supone lecho fijo en todo el tramo para lo cual se debe disponer en solera

de escollera de suficiente tamaño.

4) El ensayo de la solución proyecto entre los perfiles 1 y 11 para el máximo caudal permite comprobar que la escollera de 15 cm. utilizada en el lecho no es estable debido a las siguientes causas:

a - Paso de régimen lento en régimen rápido en la zona de la desembocadura, ocasionado por un lado por el fuerte desnivel entre las cotas de agua en el río y en el mar y por otro por el estrechamiento que produce la escollera de protección de los cajeros entre los perfiles 1 a 3.

b - Pilas de los puentes de Pescaderia y el Carmen.

c - Resalto ondulado producido por la obra ubicada en el P-11.

5) Los niveles de agua en esta zona son aceptables pero teniendo presente que se produce un movimiento de fondos.

6) En el tramo comprendido entre los perfiles 11 y 18 la escollera de 25 cm. es en general estable. Los niveles máximos alcanzados por el agua en el puente de Vendeja

supera la cota 5,25. Los estribos del puente de Salitre producen ondas que se transmiten aguas abajo. La lámina de

agua general, sin representar niveles locales, se encuentra reflejada en el gráfico 1.

- 7) Entre la desembocadura y el P-11 se realizan ensayos manteniendo el ancho y el perfil longitudinal del cauce, así como la cota de los puentes, en estas condiciones no es viable encontrar una solución que cumpla:
- a - Lecho fijo de escollera
 - b - El agua no alcanza los puentes

- 8) Entre el P-11 y el P-18 el comportamiento general es aceptable aunque el agua alcance en el puente de Vendeja niveles superiores a los deseables.

Una posterior modificación en el cajero izquierdo por parte del proyectista unida a una remodelación general de la planta, hacen que se intente disminuir los niveles manteniendo en lo posible la concepción general.

- 9) Tras efectuar diversas series de ensayos se llega a la denominada Solución Propuesta definida en la hoja de planos nº 7 a 12, en la que manteniendo las condiciones fijadas se introducen el menor número de modificaciones posibles en la solución proyecto.

10) Los puentes permanecen invariables. Solo el de Vendeja que está en proyecto se ensaya de acuerdo con lo representado en el gráfico 3. Ambas soluciones son aceptables alcanzando el agua la cota del tablero de la Solución Proyecto I en las dos zonas de pilas y presentando un resguardo general de unos 25 cm.

El puente de Tetuán se reproduce en modelo de forma uniforme a la cota 6,20. El nivel sube notablemente en la parte delantera de la pila central, pero de forma general el resguardo es de 1m. que se reduce por ondas no permanentes que se transmiten desde aguas arriba.

11) El funcionamiento entre la desembocadura y el P-11 es satisfactorio con superficie del agua relativamente tranquila y con suficiente resguardo en los puentes. En el gráfico nº 1 se representa toda la gama de caudales ensayados para las dos hipótesis de niveles en el mar, pleamar cota + 2,0 y bajamar cota - 0,5 m.

12) Los niveles de agua de la solución propuesta entre los perfiles 11 y 18 se encuentran reflejados en el gráfico nº 2 para toda la gama de caudales ensayados, no observándose influencia alguna por los niveles en el mar. Las medidas de nivel se realizan con limnigrafos fijos dispuestos en el centro del cauce. En los gráficos se representan

valores máximos alcanzados por el agua, pero no fenómenos locales que se puedan presentar en puntos o cajeros, por lo tanto al dimensionar estos se deberán añadir los resguardos necesarios.

13) Las protecciones de escollera están definidas en los planos de la Solución Propuesta. En el punto 6.2. se precisan las protecciones locales en puentes y zonas especiales. Entre la escollera y el terreno natural se dispondrá de un filtro con granulometría adecuada a cada caso.

14) Entre los perfiles 11 y 18 se proyecta una discontinuidad de material en solera, siendo los laterales de hormigón y el resto de escollera. En esta zona existe un claro riesgo de inestabilidad, debiéndose disponer de una pieza especial de separación, así como seleccionar la escollera y cuidar su puesta en obra.

En la zona de discontinuidad del P-18 para mayor seguridad sería deseable colocar escollera de 50 cm. seguida de una transición a 25 cm.

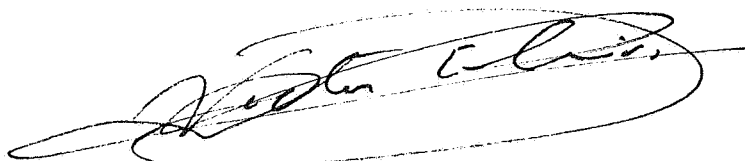
15) El ensayo con simulación de barra marina, sin tener en cuenta la consolidación de la misma muestra el barrido parcial de la barra produciéndose sobreelevaciones en la

lámina de agua, que no llega a tocar los puentes. Por ser un elemento claro de modificación de las condiciones de proyecto toda barra debe ser eliminada lo antes posible.

16) Con esta solución se dan por finalizados los ensayos de esta primera fase, pudiéndose comprobar cualquier modificación que se introduzca posteriormente así como un funcionamiento global una vez finalizados todos los ensayos del modelo completo.

Madrid, Octubre de 1989

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



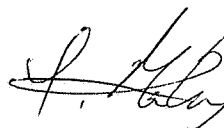
Victor Elviro García

Examinado y Conforme
EL JEFE DE DIVISION DE
HIDRAULICA DE LOS CAUCES



Angel Lara Dominguez

Vº Bº
EL JEFE DEL SECTOR DE
HIDRAULICA CONTINENTAL



Cristóbal Mateos Iguácel