

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 8, primero derecha.

EL MÉTODO EXPERIMENTAL

APLICADO AL ESTUDIO DE LA HIDRÁULICA FLUVIAL Y MARÍTIMA

I

Con el título que encabeza estas líneas ha publicado un estudio el Ingeniero y Profesor de la Universidad de Lovaina Mr. Alb Van Hecke, que contiene datos que tal vez sean interesantes para algunos lectores de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, por lo cual vamos á extractar lo más saliente de la Memoria de Van Hecke.

Los experimentos, no sólo son útiles, sino necesarios, porque la Hidráulica fluvial y marítima dista mucho de ser una ciencia en el sentido de contener leyes y principios fijos. Comprende más bien un conjunto de reglas, no todas exactas, por lo cual el Ingeniero ha de proceder con mucho tacto y mesura al aplicarlas. En lo referente á ríos sin mareas hay alguna mayor seguridad, y se han establecido relaciones bastante precisas entre la planta y el perfil longitudinal, sobre todo después de los estudios de Mr. Fargue.

En la parte fluvial, sometida á la acción de la marea, y sobre todo en los estuarios, no existen principios fijos á que pueda someterse el trazado de las que se intenten para obtener mejoras determinadas. Es prueba evidente las distintas soluciones propuestas para las que se han realizado en el estuario del Mersey con motivo de la construcción del Canal de Manchester á Liverpool y las que se han preconizado para aumentar el calado de la barra del Mersey. Lo propio ha sucedido al discutirse en 1880 las obras que debían realizarse para que pudieran llegar hasta Rouen buques de 8 metros de calado. Ingenieros distinguidos proponían la prolongación de los diques de encauzamiento, y otros sostenían que de hacerlos, corría grave peligro la conservación de los fondos del estuario porque se disminuiría la fuerza viva que en cada marea contribuye á su sostenimiento. Por otra parte, los partidarios de la prolongación de los diques tampoco estaban de acuerdo respecto al trazado que se debía adoptar.

Igual controversia suscitan las diversas soluciones que se proponen para el nuevo cauce del Escalda, aguas abajo de Amberes. Todo ello prueba que en la mayor parte de los casos no es posible presentar soluciones concretas, suficientemente justificadas, por falta de datos exactos que puedan servir de base. De aquí la gran importancia que se da, al presente,

á los estudios prácticos, en los cuales se trata de reproducir con la mayor aproximación posible el trozo del río ó estuario en que se han de hacer obras.

La idea de reproducir el lecho de un río en pequeña escala no ha sido puesta en práctica hasta 1875, en que Mr. Fargue propuso que se hiciese un trozo de río artificial que representase una parte del Garona en que había proyectado determinadas obras, cuyo trazado fué muy controvertido.

Nombrada una Comisión especial, se autorizó la construcción de un río artificial de unos 100 metros de longitud, en el que, en escala de $\frac{1}{100}$, en planta se reproducía la parte del Garona que se trataba de someter á ensayo. La escala de verticales fué de $\frac{1}{10}$, la de velocidades $\frac{1}{1,000}$. La de las secciones resultaba, por lo tanto, $\frac{1}{10,000}$ y la de gastos $\frac{1}{1,000}$.

Previamente había señalado Mr. Fargue la distribución probable de los bancos ó altos fondos y de los puntos de paso de la canal ó parte profunda. Ya advirtió que no habría acuerdo perfecto entre lo previsto y el resultado de los experimentos, por no ser el río artificial reproducción exacta del natural, pero aun así fué bastante para que se considerasen comprobadas por la experiencia las previsiones de Mr. Fargue y se decidiese hacer las obras según el proyecto formulado por el citado Ingeniero.

Los resultados han sido altamente satisfactorios, y hoy los principios sentados por Mr. Fargue, respecto á la relación que liga la planta y el perfil de los ríos de fondo movable, son aceptados por todos los técnicos que de hidráulica fluvial se ocupan.

Experimentos en Inglaterra.

Hacia la misma época se discutía en Inglaterra el trazado que debía adoptarse para la parte del Canal de Manchester á Liverpool, comprendida en el estuario superior del Mersey.

El proyecto aprobado por la Cámara de los Lores establecía el canal en el centro del estuario, proponiendo la construcción de diques longitudinales que asegurasen el calado necesario para los buques que habían de frecuentar la nueva vía.

Este trazado fué muy mal recibido en Liverpool, cuyos peritos, Mrs. Reynolds y Vernon Harcourt, hicieron observar que el encauzamiento conservaría el calado en el canal, pero que por fuera de los diques se producirían aterramientos que disminuirían mucho el volumen de agua que entraba

en cada marea en el estuario, y por lo tanto, la fuerza viva disponible para conservar los calados en el mismo sería muy pequeña, con lo que se podía producir la ruina de Liverpool como puerto marítimo. Estos informes hicieron que la Cámara de los Comunes rechazara el proyecto, que fué modificado, desde Runcorn á Eastham, de modo que la traza fuese por la orilla izquierda del estuario, sin disminuir de un modo apreciable su capacidad.

Para comprobar las previsiones de su informe Mr. Reynolds, construyó un modelo del estuario del Mersey; pero no disponiendo de tanto espacio ni medios como Mr. Fargue, se limitó á un modelo de laboratorio de un metro de longitud. El método experimental había dado un gran paso; pero aún adelantó más con los estudios de Mr. Vernon-Harcourt, relativos al estuario del Sena. En vista de los varios proyectos que se habían redactado para aumentar el calado del canal y obtener 8 metros hasta Rouen, decidió construir un modelo en el cual se fueran haciendo experimentos con los diversos trazados que habían sido propuestos.

El problema presentaba dificultades especiales porque la marea en el estuario del Sena se complica por circunstancias particulares, dando lugar á dos ondulaciones; la primera que llega del NO. y penetra entre el Havre y el banco de Amfard, mientras que otra ondulación, menos importante llega por el canal del Sur.

En un momento dado estas dos ondulaciones se cortan y la onda resultante da lugar á una intumescencia especial que recibe el nombre de *Mascaret*. Otra particularidad es lo inestable del canal. Debía también tenerse en cuenta el volumen de agua dulce, aquí mucho más importante que en Liverpool. Todas estas circunstancias complicaban el problema de modo extraordinario, y Vernon-Harcourt lo comprendió, haciendo constar que no sería de extrañar que los resultados obtenidos no fueran tan favorables como en el modelo que representó el estuario del Mersey.

Con una constancia digna de loa trabajó Vernon-Harcourt durante dos años para realizar el siguiente programa:

Reproducir en un plano reducido, en relieve y con fondo movable, el estado de los canales en el estuario antes de la construcción de los diques, es decir, lo que pudiera llamarse estado natural.

Ver si era posible sobre este mismo plano, en el cual se pusieran los diques construídos hasta aquella fecha, determinar los nuevos canales y comprobar si concordaban con los que constaban en los planos de la misma época. En caso de acuerdo se podría presumir que, completando el plano en relieve con los diques de los diversos proyectos, se obtendrían los canales que se producirían en estuario con los trazados correspondientes.

Los resultados fueron satisfactorios y en gran parte confirmaban lo previsto en los proyectos mejor estudiados. Con este motivo se hizo en Francia una campaña para que se diese á estos experimentos carácter oficial, realizándolos con mayor amplitud. Mr. Coene, autor de un proyecto, en colaboración con Mr. Parliot, consiguió que por el Ministerio de Obras Públicas se nombrase una Comisión que organizase debidamente los experimentos. Éstos se hicieron en un modelo de unos 20 metros de largo, y al cabo de cinco años de investigaciones se dieron por terminados. No se ha hecho publicación alguna en que consten los resultados obtenidos, pero Mr. Van Hecke los ha tenido á la vista, gracias al concurso que le han prestado los Ingenieros del Servicio Hidrográfico del Sena, MM. Carden y Godron.

El resultado de estos experimentos puede resumirse como sigue:

1.º Se llegó á reproducir, con bastante exactitud, el fenómeno de la marea, que presenta caracteres particulares que hacen muy complicada la transmisión de la onda.

2.º Se ha podido afirmar que no sería conveniente el trazado de los diques propuesto por Parliot, siendo desechado el proyecto correspondiente á pesar de la autoridad de su autor.

Aun cuando estos resultados son favorables al método experimental, no parece que la Administración haya quedado satisfecha de las condiciones del modelo por efecto de las escalas adoptadas y de la calidad de la arena, y como estas deficiencias fueron comprobadas sólo al cabo de dos años y no se decidió hacer un nuevo modelo, puede afirmarse que no se ha sacado de estos experimentos todo el partido que fuera de desear y que hubiera podido obtenerse aprovechando la experiencia adquirida para modificar los defectos observados.

Laboratorios alemanes.

En Alemania se ha comprendido que los experimentos deben hacerse con carácter metódico para que puedan obtenerse resultados comparables. Con ese objeto se han montado diversos laboratorios, cuya iniciativa corresponde al Profesor Engels, que en 1890, al encargarse de un curso de Hidráulica fluvial, instaló un canal de 6 metros de largo, por 40 centímetros de ancho y 10 de profundidad, con objeto de hacer experimentos en su clase.

Los resultados obtenidos fueron tan favorables que el Gobierno de Sajonia concedió los créditos necesarios para instalar un laboratorio modelo, cuya construcción se terminó en 1898. Los experimentos que se han hecho para estudiar las condiciones del Weser y del Elba, los de la entrada del Canal del Emperador Guillermo y otros, demuestran que en Alemania se ha recurrido al método experimental para formarse idea de los efectos que pueden producir las obras construídas ó proyectadas.

En 1900 se instaló en Karlsruhe otro laboratorio, bajo la dirección del Profesor Rehbock, destinado á investigaciones de hidráulica pura. Por último, en 1903 se ha construído otro laboratorio en Charlottenbourg (Berlín), bajo la dirección de M. F. Tiele, y más recientemente el de Karlsruhe, bajo la dirección del Profesor Koch. En estos dos últimos, los experimentos, lo mismo que en Dresde, se hacen á petición del Ministerio de «Vasserbauverwaltung». En cada caso particular, el Servicio Hidrográfico correspondiente proporciona los datos relativos al plano y perfil del río, así como los gastos y todos los demás necesarios para formar idea del régimen. Durante los experimentos un Ingeniero del Servicio Hidrográfico comprueba que los caracteres esenciales del río que se trata de estudiar están reproducidos con toda la exactitud posible, y sólo después de esta comprobación se empieza el estudio experimental de las obras que se proponen para mejorar el cauce de que se trata. Todas estas investigaciones se hacen en tanques de unos 16 á 20 metros de longitud y cuya sección transversal es de 2 metros de ancho por 0,40 de alto. Se ha fijado el ancho de 2 metros para poder observar fácilmente las dos orillas y el centro para lo primero; además se coloca el tanque de modo que pueda circularse á su alrededor. La dimensión vertical se obtiene del siguiente modo: se supone que el fondo del canal ha de estar revestido de una capa de arena de 0,10, y no

conviene que la altura de agua sea mayor que 0,40, porque se dificulta mucho la observación de los fenómenos que produce la corriente.

El tanque debe poder inclinarse para obtener la pendiente que corresponda al caso que se ensaye, y con este objeto se han hecho movibles los primeros construídos. En las instalaciones más recientes se deja el fondo horizontal y la pendiente se obtiene variando el espesor de la capa de arena.

Las disposiciones indicadas anteriormente no son aplicables á todos los casos; á consecuencia del poco ancho del tanque, no se pueden reproducir con exactitud los cauces de fuerte curvatura, á menos de reducir con exceso la escala de la planta, y tampoco es fácil tener en cuenta los efectos de los afluentes cuando éstos son de alguna importancia; por eso en el laboratorio de Charlottenbourg ha sido preciso construir un tanque especial de madera para el estudio experimental de una sección del Weser, donde este río tiene un codo muy pronunciado.

El Profesor Koch, en el laboratorio de Darmstadt, ha hecho una modificación ingeniosa, dejando fijas las partes correspondientes á los aparatos de alimentación y de evacuación, y en el espacio intermedio se forma el tanque con placas de hormigón armado, que pueden colocarse formando tramos de diversos anchos; de esta suerte pueden reproducirse fielmente cuantas particularidades presente el cauce que se trata de estudiar.

Para los experimentos de hidráulica general, se dispone en el mismo laboratorio de un tanque fijo de 30 metros de longitud, por 2,50 metros de ancho y 2,20 metros de profundidad.

Para poder observar bien los fenómenos, lleva lateralmente y de trecho en trecho placas de vidrio que permiten ver el interior del tanque.

Todos estos tanques están provistos de aparatos adecuados de alimentación que permiten regular la cantidad de agua que ha de pasar en un momento determinado. Lo mismo se hace con la arena, que se pesa antes de incorporarla al agua y después la que ha sido arrastrada hasta la parte inferior, determinándose, por diferencia, la depositada en la sección en estudio. Además tienen los tanques disposiciones especiales que permiten reproducir en un diagrama los perfiles transversales del fondo, la pendiente superficial de la lámina de agua y la velocidad de la misma; en cada punto, con estos elementos, se puede hacer un estudio completo de cada caso.

Los experimentos realizados para determinar las obras de mejora que deberían realizarse en determinados tramos del Weser y del Elba han demostrado que podía representarse, con bastante exactitud, el estado de los referidos ríos antes de realizar obra alguna de mejora, y la influencia que en el régimen podían ocasionar las proyectadas.

En el Weser los resultados obtenidos pueden resumirse como sigue:

	ANTES DE LA REGULARIZACIÓN				DESPUÉS DE LA REGULARIZACIÓN			
	Kilómetros 303,9		Kilómetros 304,1		Kilómetros 303,9		Kilómetros 304,1	
	Calado en un ancho de		Calado en un ancho de		Calado en un ancho de		Calado en un ancho de	
Weser.....	20 ^m	30 ^m	20 ^m	30 ^m	20 ^m	30 ^m	20 ^m	30 ^m
Modelo.....	0 ^m 20	0 ^m 30	0 ^m 20	0 ^m 30	0 ^m 20	0 ^m 30	0 ^m 20	0 ^m 30
Weser.....	1,52	1,26	1,28	1,28	1,42	1,15	1,95	1,75
Modelo.....	1,50	1,30	1,50	1,30	1,80	1,20	1,90	1,70

El modelo representaba el trozo de río en escala de 1 por 100, y como tenía 16 metros, equivale á una longitud de 1,6 kilómetros.

La arena empleada tenía un grueso medio de 1,2 milímetros y se procuró obtener en las variaciones del régimen un gasto que se aproximase al real, para lo que se determinó la escala de 1 por 40.000, lo que daba para aguas bajas medias 2 litros por segundo en el modelo, ó sean un estado del río de 80 metros cúbicos que era algo superior al efectivo.

Puede comprobarse por el cuadro anterior que los resultados obtenidos concuerdan bastante con la realidad para poder deducir en el modelo cuáles serán las obras que convenga llevar á cabo en determinadas secciones del río para conseguir un calado compatible con el régimen del mismo y la naturaleza del terreno que forma el lecho.

Los experimentos relativos al Elba se han referido á una sección de 2 kilómetros de longitud en que el fondo del río está formado por bancos de arena muy movable; de suerte que durante las avenidas su posición varía en distancias variables de 300 á 500 metros, y se transportan de una á otra orilla por efecto de la poca curvatura que el río tiene en esta sección.

Se trata de determinar el efecto de la construcción de espigones sumergidos en aguas altas y medias, y después de varios tanteos, se fijó la escala en planta en 1 por 161, y en alzado en 1 por 174.

Ésta no resultó ser la pendiente de equilibrio correspondiente á la arena empleada, y se comprobó que se producían socavaciones aguas arriba y depósitos aguas abajo, por lo que se restituía un peso igual al volumen socavado. Cuando se llegó á un estado de equilibrio para aguas medias se fué aumentando el gasto hasta llegar al de aguas altas medias, en cuyo caso volvieron á observarse socavaciones con mayor grado que anteriormente.

Después se fué disminuyendo el volumen de agua hasta llegar al régimen de aguas bajas ordinarias, comprobándose que en él los canales secundarios harían perder al principal este carácter.

Es indudable que los resultados obtenidos en este caso no son tan concordantes como en el estudio del Weser. Las diferencias entre el modelo y el río Elba son mayores por ser el fondo muy movable y el canal muy inestable; este carácter lo tenía también en el modelo, pero con la diferencia de que en éste los bancos estaban mucho más surcados por pequeños canales. No ha sido, por lo tanto, posible determinar el número de horas que se habrían necesitado para reproducir una fase del río, como la observada en aguas bajas del año 1895.

De todos modos, la utilidad del método experimental ha quedado ampliamente comprobada, y en Alemania no se emprende obra alguna importante de encauzamiento sin que previamente se trate de determinar experimentalmente el resultado probable de los trabajos que se proyectan.

No hay para qué añadir que los tanques de experimentación se consideran indispensables en toda enseñanza bien montada, y en este orden de ideas una clase de hidráulica aplicada sin ese elemento esencial puede considerarse como una de química sin laboratorio; es decir, algo teórico, sin verdadero valor real en cuanto al estudio de la ingeniería se refiere.

Por eso consideramos del mayor interés que en nuestra Escuela especial se instale un tanque de experimentación

que pueda servir á la vez para la enseñanza y para el estudio de los casos prácticos de encauzamiento que en las Divisiones Hidráulicas se presenten.

FERNANDO GARCÍA ARENAL.

LOS PUERTOS DE INTERÉS GENERAL

V

Puertos de Asturias.

La importancia de los dos primeros puertos de Asturias, *Gijón y Musel*, nos obligó á dedicarles un solo artículo. Nos resta en el presente el ocuparnos de los demás puertos de la provincia de Oviedo, declarados de interés general, y de los cuales consignaremos los datos siguientes:

Puerto de San Esteban de Pravia.—Se halla situado en la desembocadura de la ría del Nalón, y en paraje en que la naturaleza ha hecho gala de hermoso panorama.

Empezó por construirse en la margen izquierda del final de la ría un dique de abrigo, ya terminado, después de varias modificaciones autorizadas en su proyecto, que produjeron diversos presupuestos adicionales. El expresado dique facilita el acceso á la barra para las embarcaciones, y ha sido una obra de importancia en relación con las que posteriormente se están construyendo por contrata para el encauzamiento y mejora del Nalón y para la formación del puerto.

Dichas obras interesan, aparte de las de navegación en general en aquella zona, á la Compañía del ferrocarril Vasco-Asturiano, que después de recorrer las principales zonas mineras de la provincia, termina en la desembocadura de la citada ría.

Dicho puerto debe terminarse en un plazo de ocho años, habiéndose facilitado por el Ministerio de Fomento la prosecución de las obras concediendo cantidades alzadas para los dragados en la barra y en la canal, y autorizando recientemente á la Empresa constructora para realizarlos previamente por su cuenta y con el material de que la misma dispone, á reserva de abonarles después los gastos correspondientes. También el Estado realizó la obra necesaria para rebajar el bajo del Llamparón, y ha prometido secundar las obras cuanto sea posible con arreglo á los recursos de que dispone, para lograr la formación en dicho sitio de un gran puerto exportador de carbones.

Puerto de Avilés.—Ya construído y terminado hace algunos años, habiéndose realizado todas las obras por contrata y por cuenta del Estado.

Se ha formado en San Juan de Nieva una extensa dársena, en el final de la margen izquierda de la ría de Avilés. Las obras principales para constituir el puerto indicado han sido las de encauzamiento y dragado de dicha ría y las de la citada dársena.

Las arenas de la duna y playa occidental penetran en la canal y producen constantes aterramientos en el puerto, lo que ha exigido y exige casi continuamente dragados como el que actualmente se está realizando por contrata y á cargo del Estado en la ría de Avilés, y como el que se proyecta para la entrada y fondo de la dársena.

La explotación de dicho puerto se hace por el Sindicato minero, relacionado con la Real Asturiana, que dirige la de las próximas explotaciones del zinc, en Salinas.

El año último, de 1909, se han *embarcado* en dicho puerto 225.000 toneladas próximamente de carbón (principalmente) y de otras mercancías (minerales, brea, pinos y otros artículos), y se han *desembarcado* 32.373 toneladas. El puerto de *Avilés* tiene, sin embargo, capacidad para llegar á un tráfico de *un millón de toneladas* al año; pero es dudoso que lo consiga atendiendo á la natural competencia que le hacen, y que cada vez será mayor, de los puertos de Gijón, Musel y San Esteban de Pravia.

Puerto y ría de Villaviciosa.—Se han ejecutado las obras de encauzamiento en la parte de la ría próxima á la barra y dársena próxima, habiéndose autorizado recientemente la formación del proyecto estrictamente necesario para terminar dichas obras y utilizarlas; pero desestimándose la propuesta de un proyecto costoso que se había remitido á la Superioridad por no estimarse proporcionado al tráfico actual ni aun al futuro, pues dicho tráfico es escaso, limitándose casi exclusivamente á la exportación de sidra y de productos locales, y tanto por dicho puerto como por el de Tazones, que sirve de antepuerto á la ría y se halla fuera de la barra.

El número de buques que anualmente circulan en dicha ría y puerto de *Villaviciosa* no llega á un *centenar*, y el tráfico total suele ser el de unas *tres mil toneladas*.

Cudillero.—Se ha construído uno de los diques de dicho puerto y se halla el segundo en construcción adelantada, aun cuando las condiciones especiales de su emplazamiento han hecho necesarias varias reformas en el proyecto, que aún no ha sido aprobado definitivamente.

Dicho puerto se halla situado en una quiebra de la costa, con mal fondo y de mar agitada, siendo difícil el mejorarle. Y de aquí la necesidad de modificar el proyecto, aun cuando será probable que no se consiga la tranquilidad necesaria para que dicho puerto pueda servir de albergue á las numerosas lanchas pesqueras de aquella localidad que constituyen la principal industria de la misma.

Navia.—Puerto en construcción, situado también en una ría, con barra y bancos de arena que hacen difícil la navegación y el tráfico. Á pesar de ser éste escaso para la casi única industria, de la pesca, en dicha localidad, consiguieron de la Administración central, no sólo la declaración del puerto, de interés general, sino la de la contratación de las obras de una dársena, que habrá de producir, además de los gastos de las mismas, la de permanentes dragados para su limpia, que conceptuamos en total desproporcionadas á la utilidad que al Estado y aun á los intereses locales habrán de producirle con dicho puerto.

Luanco.—Las obras de dicho puerto fueron subastadas y rescindidas después con pérdida de la fianza, por incumplimiento de las condiciones por el contratista. Se han subastado nuevamente y parece que tampoco se construyen dentro de los plazos obligados, por el nuevo contratista.

Realmente, el fondo de la ensenada, en la cual se ha proyectado la construcción de dicho puerto, tiene varias restricciones, y es probable que la continuación de las obras exijiesen varios presupuestos adicionales para su debida estabilidad.

Cuando en un principio se trató de establecer un gran puerto en aquella parte de costa, se pensó en proyectarlo en otra ensenada más amplia y mejor que la elegida para