

# REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**Redactor-Presidente**..... Excmo. é Ilmo. Sr. D. Leonardo de Tejada, Inspector general del Cuerpo.  
**Redactores**..... Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.  
 D. Antonio Sanier, Profesor de la Escuela de Caminos.  
 D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.  
**Colaboradores**..... Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

## OBRAS DEL PUERTO DE BARCELONA



Muelle de Pescadores.—Lado de la dársena del Comercio.

## PANTANO DE MEZALOCHA

### II

#### RUINA DE LA ANTIGUA PRESA

Ocurrió, como decíamos en el artículo anterior, el día 20 de Junio de 1766.

Esta noticia es la única que hemos podido encontrar

acerca de este triste suceso, á pesar de haber consultado varios archivos. Por otra parte, no hay en toda la zona regable tradición alguna de cómo se verificó la catástrofe; y como entendiéramos desde los primeros momentos que era en nosotros un deber reconstituirla para sacar las enseñanzas consiguientes y no perderlas de vista al proyectar el nuevo dique, á ello dirigimos nuestro estudio, que dió por resultado las consideraciones siguientes:

El cauce del Huerva desde Zaragoza á Villanueva, es decir, desde su desembocadura en el Ebro hasta unos

8 kilómetros encima del embalse del pantano, ofrece dos aspectos diferentes.

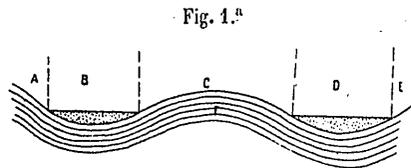
Desde Zaragoza á Muel (pueblo situado á 6 kilómetros aguas abajo de la presa) todas las secciones transversales al cauce del río vienen á ser lo mismo: á uno y otro lado de éste, primero bancos de caliza, debajo de ellos margas y yeso, todo ello del mioceno lacustre del antiguo lago del Ebro, y en la parte más baja, constituyendo la huerta del pantano, terrenos de formación moderna, en los que el río ha establecido su cauce.

Desde Muel á Villanueva la geología del terreno es ya distinta. En el primero de estos pueblos aparece el Lias; á poca distancia, y hacia aguas arriba, se oculta; vuelve á aparecer en Mezalocha, se oculta otra vez en Ailés (caserío que dista de Mezalocha 4 kilómetros), y en Villanueva, por último, se le contempla de nuevo.

Los estratos de esta formación geológica buzan hacia aguas arriba en Muel; empieza á suceder lo contrario tan pronto como aparecen en el estrecho de Marimarta de Mezalocha; disminuye su inclinación á medida que se avanza río arriba, y después de ser horizontales vuelven á tener la misma dirección que en Muel en las inmediaciones de Ailés. En Villanueva tienen otra vez la misma inclinación que tenían en el estrecho de Marimarta.

El vaso del pantano está todo él en los 4 kilómetros de cauce que median entre el estrecho de Marimarta y Ailés.

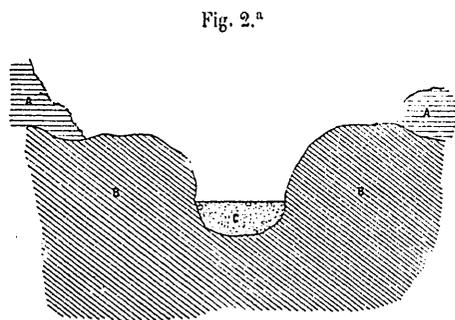
Dibujado en la adjunta fig. 1.<sup>a</sup> lo que la anterior expli-



A. Muel.—B. Huertas de Muel y Mezalocha.—C. Embalse del pantano.—D. Huertas de Ailés y Villanueva.—E. Villanueva.—F. Lias.

cación expresa, se ve con toda claridad que el embalse del pantano está todo él en un repliegue anticlinal del Lias, y que las huertas de Muel y Mezalocha y de Ailés y Villanueva están constituidas por terrenos de formación moderna, depositados en dos repliegues sinclinales de aquella formación jurásica.

Una sección transversal al río, en cualquiera de los puntos del embalse, viene á ser lo que representa la figura 2.<sup>a</sup>, por la que se desprende que no es fácil fijar la



A. Mioceno lacustre.—B. Lias.—C. Cantos rodados.

época en que tuvo lugar el levantamiento del Lias, pudiendo asegurarse solamente, dada la horizontalidad de los estratos del mioceno y su inmediato contacto con el Lias, que fué anterior al período de formación de aquel terreno terciario. La misma fig. 2.<sup>a</sup> manifiesta, de igual modo, que

en esta parte el cauce del río Huerva se ha producido también por la erosión de las aguas en la formación liásica, puesto que la correspondencia de los estratos de una y otra margen no puede ser más perfecta. Y dice también, de un modo evidente, que si las rocas secundarias, con su gran dureza, sufrieron la acción erosiva de las aguas, con mayor razón la sufrirían los deleznable depósitos miocenos que á la sazón ocupasen el cauce inicial del río, siendo lógico pensar que estos depósitos habrían desaparecido del cauce actual y que no se les encontraría al hacer las excavaciones necesarias para la fundación de la presa.

Por último, yendo desde el río hacia Mezalocha, se observan diferentes puntos de la formación liásica, que ofrecen el mismo aspecto que el estrecho de Marimarta, aunque sean menores sus proporciones, y en ello se ve que hay perfecto enlace entre las dos rocas ó márgenes del cauce que dibujan.

Por todas estas consideraciones adquirimos el convencimiento pleno de que, en el emplazamiento de la presa en el estrecho de Marimarta, el terreno firme para su cimentación había de encontrarse, seguramente, ofreciendo las mayores garantías, á una profundidad no muy grande, y que los productos procedentes de la excavación para fundarla no pudieron ser más que arenas y cantos rodados de mayor ó menor tamaño.

Dicho esto, vamos á ver ahora, con ayuda del plano adjunto, cómo se encontraban los restos del antiguo dique antes de que se procediera á su demolición.

Pegada á la roca de la margen izquierda hay una buena parte de la presa, en la que se conservan las cornisas correspondientes á los dos paramentos, de los cuales el de aguas abajo, que tiene un ligero talud y está formado con grandes sillares, permanece todavía intacto. La altura de las cornisas sobre el lecho del río es de 22 metros, y ésta sería, indudablemente, la de la presa misma, puesto que la parte á que nos referimos está fundada sobre la roca y no ha experimentado movimiento alguno.

En el escarpe de la margen derecha sólo se conservan señales evidentes de la extensión que en ella servía de entrega á la presa; pero á muy poca distancia de dicho escarpe existían dos grandes trozos informes de obra vieja, representados en 2 y 3 en el croquis. Su altura era de 10,80 y 12 metros, respectivamente; ambos estaban inclinados hacia el centro del río y hacia aguas abajo el 2 y hacia aguas arriba el 3.

Las masas 4, 5, 6 y 7 eran también muy irregulares, y sus alturas sobre el lecho del río pequeñas.

Por último, en 8 se representa un gran trozo de obra que ofrecía algunas particularidades. Pertenece, indudablemente, á la parte superior de la presa, puesto que tenía su cornisa de coronación. La altura era de unos 14 1/2 metros, es decir, que esta cornisa estaba 7 1/2 metros más baja que las de la margen izquierda á que antes nos referimos. Una de las superficies de este trozo era convexa y estaba formada con sillares, de modo que pertenecía, indudablemente, al paramento de aguas arriba de la presa. La particularidad mayor en este trazo era la de tener su cornisa paralela al eje del río.

Las señales de la margen derecha y la parte de paramento de aguas abajo que teníamos en la izquierda y cuya intersección con el lecho del río se representa en A B, nos han permitido reconstituir la presa antigua, resultando que tenía 13,50 metros en la base y 7,70 metros en la co-

ronación, y una altura total de 22 metros. Su curvatura era muy grande, puesto que su radio medía tan sólo la longitud de 27 metros.

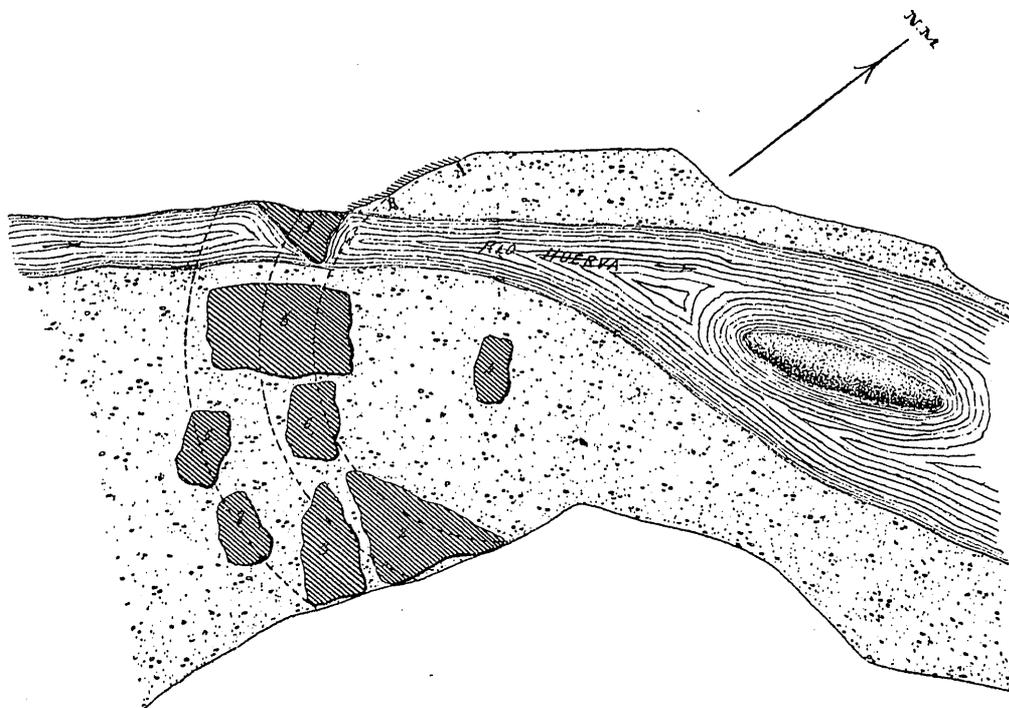
Obsérvense las cifras del párrafo anterior y se vendrá en conocimiento de que la presa de que nos estamos ocupando es exactamente la misma que proyectó Josef de Ollet, y que describimos en los antecedentes históricos.

Después de esta ligera descripción de cómo se encontraban los restos de la obra antigua antes de proceder á su demolición, durante la que se ha podido apreciar el distinto esmero con que había sido construída, fácil es demostrar que la causa de su ruina fué el no haber llegado con sus cimientos al terreno firme. En efecto.

dicho terreno había de encontrarse á una profundidad no muy grande. Tampoco era menos racional la consideración que nos explicaba cómo se había quedado sin apoyo una parte de la presa, puesto que ya vimos también en esas mismas consideraciones geológicas que entre el Lías del fondo del río y el lecho de éste no podía haber más que gravas.

Los trozos más pequeños, como el 4 y 6, contiguos al 8, de que acabamos de hablar, fueron arrastrados á mayor ó menor distancia, según su peso.

Los 5 y 7, situados más hacia el centro de la obra, cayeron hacia aguas arriba, lo cual se explica recordando la gran curvatura de la presa.



La labor constante del agua, que ya desde los primeros momentos pasaría en tal hipótesis (aunque en pequeña cantidad, porque de lo contrario la obra se hubiera arruinado en el acto) por entre las gravas que servían de base á la presa, fué creciendo sin cesar y cada vez con más fuerza, á medida que el tiempo y la altura del agua aumentarían. Llegó un momento en que la presión de este agua fué tal, que precipitándose con violencia y en gran cantidad por las verdaderas cavernas que al fin se debieron producir en las citadas gravas, arrastró un gran volumen de ellas, dejando sin apoyo una buena parte de la obra. Su misma heterogeneidad ayudó á que se desquiciase, y en poco tiempo quedó dividida en varios trozos.

El señalado en el plano con el número 8, que, indudablemente, fué el que insistió sobre las primeras gravas arrastradas, al quedarse sin apoyo descendió hasta encontrar terreno firme; al mismo tiempo debió quedar envuelto por el agua, y al perder de su peso el del volumen de ésta que desalojaba y sufrir en su paramento de aguas arriba (que tenía gran curvatura) el empuje de la corriente, fué arrastrado por ésta y giró como giran las veletas cuando las empuja el viento, hasta orientarse en su misma dirección.

Que este trozo número 8 llegó en su movimiento de descenso hasta el terreno firme, era cosa evidente después de las consideraciones geológicas apuntadas, puesto que por ellas habíamos adquirido el convencimiento de que

Por último, los trozos 2 y 3, lejos también de la corriente, encontraron en su descenso á la roca enseguida y sufrieron un movimiento relativamente pequeño.

Todas estas consideraciones han tenido confirmación completa; primero en los datos que acerca de la profundidad de los cimientos publicamos en el artículo anterior, y más tarde, cuando se practicó la excavación para los cimientos de la nueva presa, al ver, como hacía esperar el trozo 8, que la roca estaba á 7 metros de profundidad máxima, y al encontrar grandes masas de obra antigua que tenían las hiladas horizontales de mampostería casi en dirección vertical y que, apoyándose en algunos puntos sobre la roca, en otros se hallaban separadas de ella por las gravas, que al disminuir la velocidad del agua fueron rellenando las desigualdades de la misma.

En resumen: los que proyectaron y construyeron en el siglo pasado el dique de Marimarta, al fijar la profundidad y espesor de los cimientos sólo se preocuparon más en que la resistencia del terreno fuera suficiente para sostener el peso de la construcción; sin prever que con la presión de 20 metros de altura que había de tomar el remanso del agua, al llenarse el pantano, sería posible el paso del líquido á través del terreno de acarreo sobre que insistía la obra. En este acarreo las aguas empezarian arrastrando el fango y las arenas más finas; las arenas gruesas después, y llegando á tener cierta importancia la filtración por bajo del macizo de los cimientos, el esfuerzo de la corriente fué,

sucesivamente, llevando ante sí materiales más gruesos, hasta que dada la exagerada curvatura del dique, empezaría á inclinarse por su centro aguas arriba, á cuartearse, por consiguiente, y, por fin, á su completa y paulatina destrucción.

En omisiones análogas incurrieron nuestros antepasados al construir esta clase de obras, como podrá leerse en el artículo siguiente.

ANTONIO LASIERRA.

### DETERMINACIÓN DE LA LUZ DE COSTE MÍNIMO EN UN PUENTE METÁLICO DE LONGITUD TOTAL DADA

Al tratar de proyectar un puente metálico, se presenta siempre un problema de importancia capital si se ha de establecer con acierto la obra. Consiste en determinar las luces más convenientes de los tramos ó el número de pilas que se deben construir para obtener la mayor economía posible.

Los ingenieros han resuelto, hasta ahora, este problema, generalmente por medio de tanteos, siguiendo un procedimiento puramente empírico.

En nuestra *Práctica usual de los cálculos de estabilidad de los puentes* dimos una solución de carácter general, fundada en el trazado de ciertas curvas. Su aspecto nos sugirió la idea de sustituirlas por otras que se aproximasen á ellas lo suficiente para no ocasionar errores de un orden inadmisibles en la práctica y susceptibles de una definición geométrica, para poder aplicar á ellas los métodos conocidos del análisis. Y, en efecto, la solución es muy fácil siguiendo este método, por medio del cual se obtiene una fórmula sencillísima que se puede aplicar con toda confianza en la mayor parte de los casos que se presentan en la práctica.

Vamos á dar á conocer el resultado de este estudio; pero convendrá recordar antes la solución que propusimos en el libro citado.

«Para la determinación de la luz más económica en los puentes metálicos, decíamos allí, puede seguirse un método general que da la solución del problema con toda la aproximación necesaria en la práctica.

Se puede suponer, provisionalmente, que todos los tramos han de ser iguales, y valuar, en cada una de las soluciones, el coste alzado de la parte metálica. Para ello basta acudir al cuadro que da el peso de la estructura metálica para las diversas luces, y conocido el peso de la obra en toneladas, multiplicarlo por el precio de la tonelada puesta en obra, obteniéndose así el coste de la superestructura.

Hecho esto, se traza una curva cuyas abscisas son las luces y cuyas ordenadas representan los costes en escalas arbitrarias.

La ordenada de esta curva crece rápidamente con la luz, como se ve en la curva de trazo fino (fig. 1.)

Como el espesor de una pila varía poco con las luces, se puede determinar un precio medio que se admite para todas las pilas, y llevando como ordenadas correspondientes á las luces estudiadas el coste total de las pilas que exige cada solución, obtendremos la curva de trazos, cuya

ordenada decrece rápidamente cuando aumenta la abscisa.

Para cada luz, la suma de las ordenadas de las curvas precedentes nos indicará el coste total de la obra (prescindiendo de los estribos, que representan un gasto común á todas las soluciones y no es necesario tener en cuenta). La curva de trazo grueso representa esta curva, y la abscisa correspondiente á su ordenada mínima será la luz más conveniente.

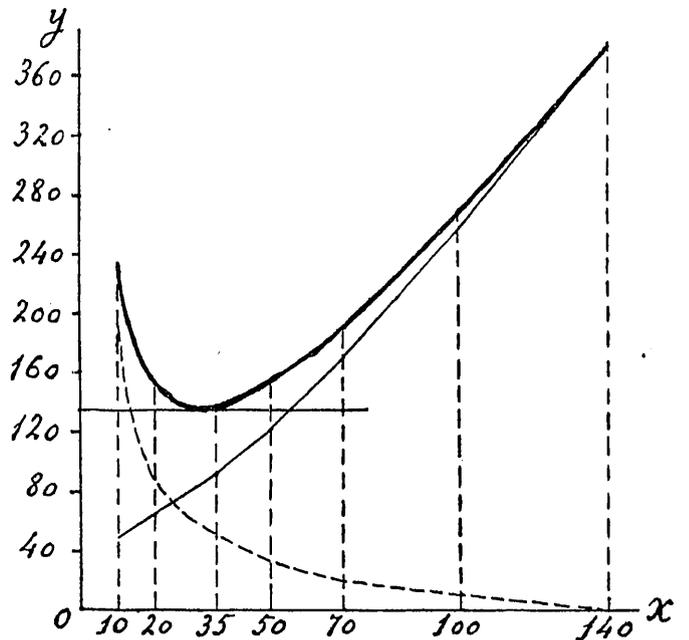


Fig. 1.

Un ejemplo aclarará la explicación que precede.

*Ejemplo.*—Supongamos que se trata de un puente para ferrocarril de simple vía, cuya longitud total es de 140 metros.

Admitiendo que las luces hayan de ser iguales en todos los tramos, estudiaremos las cinco soluciones siguientes:

1. <sup>a</sup>	14 tramos de	10 metros	con	13 pilas.
2. <sup>a</sup>	7	—	20	—
3. <sup>a</sup>	4	—	35	—
4. <sup>a</sup>	2	—	70	—
5. <sup>a</sup>	1	—	140	—

Estudiando el peso de la super-estructura metálica en cada una de estas soluciones, por medio del cuadro citado, y admitiendo que el precio de la tonelada de hierro puesta en obra sea de 400 pesetas, tendremos los valores siguientes:

SOLECIONES	Peso por metro lineal. Toneladas.	PESO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA Toneladas.	COSTE Pesetas.
1. <sup>a</sup>	0,783	$0,783 \times 140 = 109,62$	43 848
2. <sup>a</sup>	1,115	$1,115 \times 140 = 156,10$	62.440
3. <sup>a</sup>	1,682	$1,682 \times 140 = 235,48$	94.192
4. <sup>a</sup>	3,191	$3,191 \times 140 = 446,74$	178.696
5. <sup>a</sup>	6,519	$6,519 \times 140 = 912,66$	365.064

Tomando por abscisas las luces correspondientes á cada solución y por ordenadas los costes, se obtiene la curva de trazo fino de la fig. 1. Se ha adoptado para escala de distancias medio milímetro por metro, y para las ordenadas 4 milímetros por cada 20.000 pesetas.

Suponiendo que cada pila cuesta, por término medio,