

REPARACION DE LOS CIMIENTOS

DEL PUENTE DE ARANDA DE DUERO.

Lámina 162.

Uno de los rios que en el próximo pasado invierno tuvo mayores avenidas causando daños de mas consideracion, fué el Duero, cuyos desbordamientos, apesar de su profundo lecho, inundaron pueblos enteros, destruyeron multitud de edificios, arruinaron puentes y causaron daños sin cuento, alli donde la corriente impetuosa de sus aguas estendió su dominio.

Pocas obras de las establecidas sobre este rio se libraron al efecto destructor de su corriente, y el puente de Aranda construido en la villa de este nombre, sufrió tambien las consecuencias de la extraordinaria elevacion de su nivel, hasta una altura de diez metros sobre las aguas bajas de invierno.

Durante el crecimiento de las aguas, el citado puente no esperimentó daño alguno, mas al comenzar el descenso, se presentaron en el pavimento dos aberturas que dieron á conocer un movimiento notable en las bóvedas de los dos arcos de la derecha, aberturas que aumentando se hicieron sensibles en los pretilos, obligando á tomar algunas precauciones respecto al tránsito, hasta asegurarse del daño sufrido por esta construccion. Un reconocimiento escrupuloso hizo conocer que las bóvedas de los dos arcos se habian abierto diagonalmente y que su principal movimiento se hacia sensible en el interior de la bóveda sin que los arcos de cabeza manifestáran apenas desagregacion alguna en sus paramentos; lo cual, la direccion de las aberturas y las demas observaciones que se hicieron respecto al movimiento de la fábrica, indujo á sospechar que los cimientos de la pila derecha, habian esperimentado alguna alteracion ó deterioro notable, imposible de re-

conocer ni apreciar en aquellos momentos.

Cuando las aguas descendieron, empezó á descubrirse en ambos paramentos de la pila derecha la falta de algunas hiladas de silleria inmediatas al zócalo, y una socavacion de la parte interior de la fábrica, cuya entidad no podia apreciarse debidamente á la simple vista; y como el movimiento de la fábrica no continuaba, la bóveda no habia vuelto á sufrir alteracion alguna: se conocía ya la causa del movimiento, pero en aquella estacion era muy difícil ó casi imposible poder reconocer ni menos reparar el deterioro sufrido, por la altura de las aguas y la rápida corriente del rio; se dilató por consiguiente hasta la época de las aguas bajas el reconocimiento.

Practicado este en los últimos dias del mes de mayo, sus resultados fueron en estremo alarmantes, pues se descubrió que la socavacion que habia sufrido la pila comprendia la mayor parte de su espesor, en términos que en algunos parajes descansaba toda la construccion solo en un macizo de 1^m,30 de grueso, sin que los sondeos practicados en el interior, dieran á conocer si los cimientos de la pila habian ó no desaparecido por completo; porque las piedras y fango depositado impedian juzgar con certeza de la verdadera forma de la socavacion á dos metros debajo del agua que era la altura media del nivel del rio en aquel paraje.

Al juzgar por este reconocimiento del estado del puente y considerar el pequeño apoyo que sustentaba una construccion de tanta magnitud, asaltaron los temores de que un movimiento en la fábrica ó la continuacion de la accion de tan grande peso sobre la reducida base en que descansaba, podria ocasionar la ruina del mismo; pues si los macizos de esta obra tenian un espesor mayor del necesario para el sostenimiento de las bóvedas, la base que habia quedado era menor que la que correspondia para no temer su ruina; y solo podia confiarse en la intima union de los materiales, cuya cohesion, consiguiente á su antigüedad hacia un solo cuerpo compacto de toda la construccion.

Era pues indispensable y urgente llevar á

Madrid 15 de Noviembre de 1861.

cabo la reparacion de esta obra; y al examinar sus condiciones, se presentaban dos medios de ejecucion: el primero separar las aguas del rio dirigiendo su corriente por el arco de la derecha, dejar despues en seco la pila socavada y fundar en la nueva fábrica con las mismas condiciones que el resto de la pila: el segundo medio que podía emplearse, era fundar sin agotamientos, rodeando la pila de un recinto que remansase el agua, dragando en su interior hasta la profundidad conveniente, sumergiendo hormigon hidráulico en todo el interior de la socavacion para formar una plataforma hasta cerca del nivel de las aguas y continuar despues la fábrica hasta unirla á la antigua construccion.

El segundo medio solo podía convenir cuando el dragado fuera fácil de ejecutar y el agotamiento imposible ó de mucho coste; por cuya razon se dió la preferencia al primer medio como el de mayores garantías para la seguridad de la obra, y así se propuso en el proyecto que fué aprobado por Real orden de 9 de julio disponiendo su ejecucion por administracion conforme habia propuesto, y como convenia para la ejecucion de una obra de esta naturaleza tan espuesta á circunstancias imprevisas y tan difícil de apreciar previamente en todos sus detalles de ejecucion.

El proyecto aprobado se componia de una ataguia de desviacion, para separar las aguas del Duero, dirigiéndolas todas por el arco de la izquierda, (véase la lámina) una ataguia de recinto rodeando la pila socavada para poderla dejar en seco, y el proyecto de construccion de la silleria y mamposteria necesaria para reponer toda la fábrica arrastrada por las aguas.

Empezada la construccion de la primera ataguia, se formó con estacas de enebro de 1^m,50 á 2^m,50 de longitud clavadas á mazo en el lecho del rio, y unidas unas á otras por un revestimiento de tablas de 0,04 á 0,06 de grueso en el cual se apoyó un malecon de arcilla y tierra bien apisonada, cuya coronacion, que tenia un metro de anchura, se hallaba á 0^m,60 próximamente sobre el nivel de las aguas y sirvió de camino de servicio para su ejecucion.

La construccion de esta ataguia de 55 metros de longitud, duró tan solo seis dias; empleándose 120 jornales de braceros, 24 de carpintero y cuyo coste total ascendió á 5,152 reales vellon ó sean 95,51 reales por metro lineal. Esta ataguia contuvo las aguas dirigiéndolas al arco de la izquierda, é hizo descender su nivel junto á la pila socavada, en una altura de 0^m,40.

La construccion de la ataguia de recintos presentó algunas dificultades. Compuesto el suelo sobre que habia de establecerse, de un zampeado deteriorado de grandes bloques de piedra, era muy difícil la hinca de pilotes y tablestacas, y mas todavía el conseguir el necesario aislamiento é impermeabilidad del espacio circunvalado por la ataguia; así como tambien era muy costoso é imposible con los medios de que podia disponerse, el limpiar el lecho del rio de los grandes sillares de que se hallaba sembrado á metro y medio de profundidad de agua. Por estas razones se hincaron los pilotes por entre los huecos que dejaban las piedras, se arriostraron fuertemente, se clavaron las tablestacas hasta donde fue posible, y algunas de ellas solo descendiendo hasta encontrar las piedras, y se rellenó el espacio interior que tenia de 1,50 á 2^m de anchura, de arcilla pura bien apisonada.

Esta segunda ataguia rodeó al principio tan solo el lado de la pila en que se hallaba la mayor socavacion, mas observándose al empezar los agotamientos que el agua se filtraba por entre la fábrica desde el otro lado de ella, se circunvaló completamente, si bien en la parte restante de esta ataguia se suprimió la madera por razon de la menor profundidad de agua, y se formó de arcilla solamente. El coste total de esta segunda ataguia, cuya longitud era de 40 metros y su altura media 2 metros, ascendió á 4.875 rs. vn. ó 174.04 rs. por metro lineal.

Terminadas las ataguias y los andamios, y colocadas las bombas para dar principio á los agotamientos, sobrevino una avenida repentina que, elevando un metro el nivel de las aguas, saltaron por cima de las ataguias y

obligó á romper la de desviacion para evitar el grande remanso de las aguas. No obstante, los deterioros causados fueron de pequeña consideracion, porque en breves momentos se logró poner á salvo todo aquello que hubiera podido sufrir detrimento, hallándose reparados á los tres días todos los daños sufridos.

Comenzados los agotamientos con dos bombas Letestu de 0.^m25 de diámetro, movidas por dos cuadrillas de doce hombres cada una, trabajando continuamente seis en cada bomba, no fue posible hacer descender el agua sino dos ó tres centímetros de su nivel; lo que hacia suponer grandes filtraciones por bajo la ataguia, cuya situacion se descubrió observando el movimiento interior y exterior del agua, por lo cual se arrojó por la parte exterior de la ataguia alguna cantidad de arcilla, que introduciéndose entre las piedras, interceptara los principales conductos de agua.

Después de esta operacion fue posible el agotamiento; y tapadas entonces las mayores filtraciones por medio de arcilla, se consiguió con una sola bomba mantener sin agua todo el espacio comprendido en el interior de la ataguia.

En este momento pudo reconocerse el verdadero estado de esta construccion, y aunque las señales que se descubrian en los paramentos unidas á los resultados que dió el reconocimiento primitivo, indicaban el peligro que la amenazaba, al ver la mayor parte de los sillares rotos y próximos muchos á desprenderse, y diferentes hendiduras que se manifestaban en varios parajes, manifestaron que era mayor de lo que se habia creído la eminencia de la ruina de este principal apoyo de un puente de tanta consideracion.

De los seis metros de espesor que tiene la citada pila, 4.^m20 habian sido arrastrados por las aguas en una altura que comprendia toda la fábrica de los cimientos hasta dos hiladas superiores al zócalo, quedando la parte superior del socavon casi cortada á nivel, y de la cual amenazaban desprenderse los sillares y mampuestos que estaban sostenidos solamente por la adherencia del mortero. La socavacion

del terreno llegaba mas baja que el cimiento de la pila, y la pequeña parte de 1.^m80 de espesor que habia quedado, solo descansaba sobre un monton de arena y grava de fácil remocion, y á traves del cual filtraba el agua por diversos parajes: y si á esta situacion peligrosa del único apoyo que á la pila quedaba, se agrega el que muchos de los mampuestos y sillares de su parte inferior se habian ya roto y continuaban abriéndose, como si estuvieran sometidos al límite del peso que podia resistir, se comprenderá el peligroso estado de esta construccion, y los cuidados y precauciones que era preciso tomar para dar principio á la ejecucion de la obra.

Solo la cohesion de los materiales y el enlace intimo de todas las partes de esta construccion, han sido las causas que han impedido la ruina de la obra, sin ellas casi se concibe como ha podido sostenerse; y era de esperar que el menor accidente, la primera conmocion ó movimiento de la fábrica: destruyera esta cohesion y causara la ruina del puente.

Para formarse idea de la estabilidad de esta obra antes de su reparacion, basta mirar el plano y perfiles que presentamos en la lámina 162 y observar que á la pila socavada solo la quedaba un espesor de 1.^m80 en una gran parte, y por consecuencia, que los dos arcos de medio punto de 14.^m50 y 17^m de luz solo tenian de apoyo este reducido espesor, sobre el cual descansaba además toda la fábrica de la pila. Calculado el peso que cargaba sobre esta base, tomando por peso medio de la fábrica 2.000 kilogramos por metro, resulta:

Volúmen de toda la fábrica que gravitaba sobre la citada pila 1.067 metros cúbicos.

Base á que la pila quedó reducida 41 metros cuadrados.

Peso total de la fábrica que cargaba sobre la pila 2.154.000 kilogramos.

Peso por metro cuadrado de la base 52.049 kilogramos, ó sean 5,20 kilogramos por centímetro cuadrado, peso que la citada base podia soportar en el supuesto que la carga se repartiera por igual en toda su esten-

sion; pero si prescindimos de los tajamares y calculamos únicamente el cuerpo principal del puente ó sea toda la fábrica comprendida entre los paramentos de las bóvedas, que es la carga sobre la parte central de la pila, tendríamos:

Volúmen de la fábrica que carga sobre el centro de la pila.	773 ms. cúbs.
Peso de este volúmen 773×2000.	1.546.000 kilóg.
Base correspondiente en la pila socavada. . . .	17,70 ms. cuad.
Peso que carga por metro cuadrado.	87.544 kilóg.

De modo que resultan 8,75 kilogramos por centímetro cuadrado, carga que podía soportar la base; pero que atendiendo á la mediana construcción de la mampostería de los cimientos y á la densidad y dureza de las piedras que la formaban, era una carga muy excesiva para que obrando constantemente sobre ellas no produjera su aplastamiento; pues si se examinan las esperiencias hechas sobre la resistencia de materiales y se tiene presente que las mamposterías no deben nunca cargarse de un peso mayor que de $\frac{1}{20}$ del que aplasta las piedras, se echará de ver lo que decimos, tanto mas fundado si se considera que la falta de cohesión de los materiales hubiera podido dar lugar á un aumento considerable en algunos puntos, del peso por unidad de base, y tanto mas hallándose el plano de simetría de la pila en algunos puntos fuera de la base de sustentación.

Presentamos estas consideraciones, no solo para poner de manifiesto con qué reducido espesor de la pila se ha sostenido este puente durante ocho meses, sino tambien para explicar que no podía haber confianza en consentir el tránsito general por él, y patentizar la absoluta necesidad que habia de su reparación para evitar las funestas consecuencias que de la ruina de esta obra hubiera resultado, hallándose colocada en un paraje en que seria

difícil y costoso el establecimiento de un paso provisional.

Empezada la reconstrucción de los cimientos de la pila, ha sido indispensable hacer funcionar constantemente una de las dos bombas citadas, y ambas al dar principio diariamente á los agotamientos.

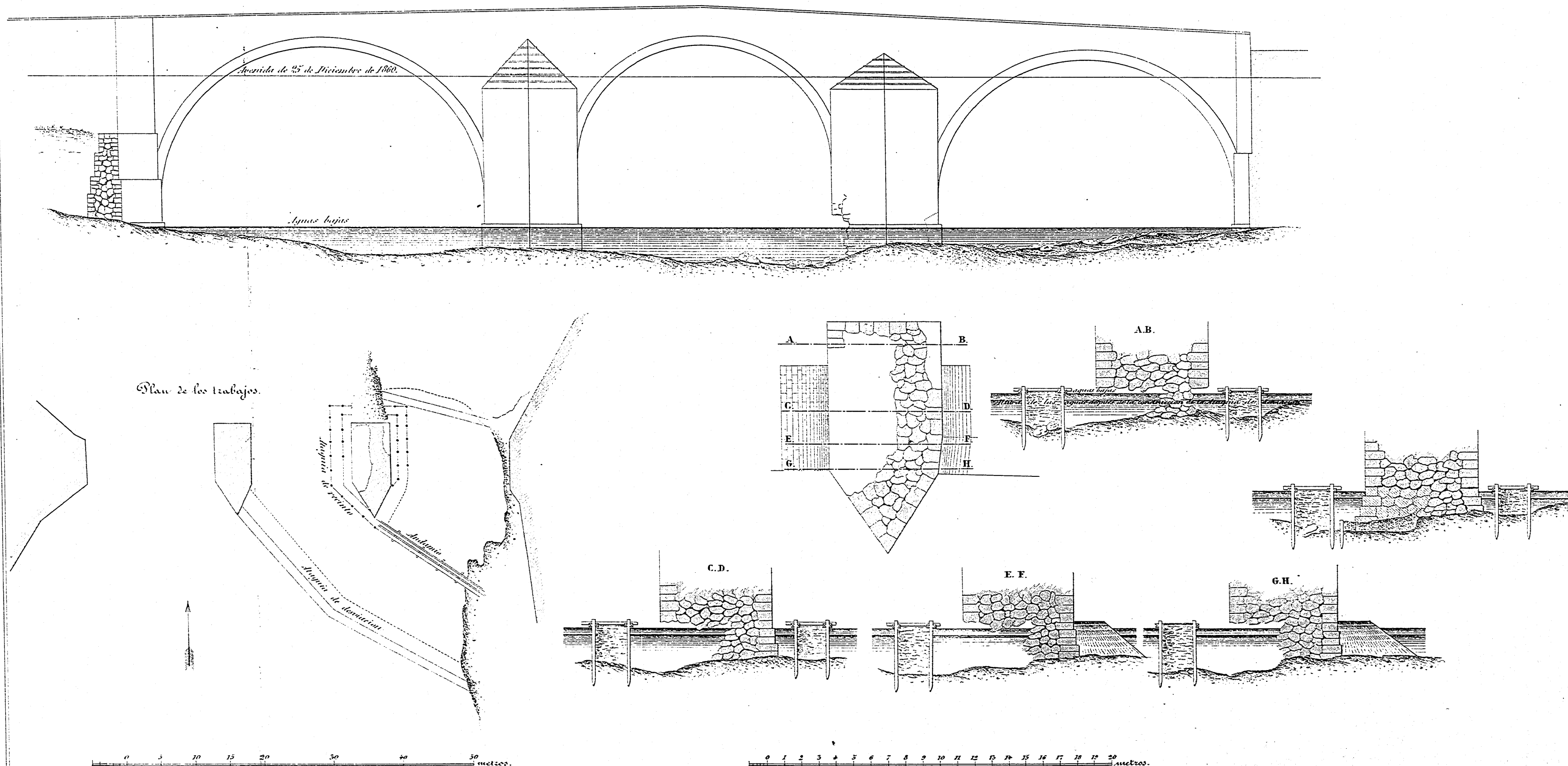
El terreno sobre que se ha fundado la nueva fábrica, mucho mas sólido que el que sostiene la parte restante de la pila, es arena y grava muy compacta, formando una especie de conglomerado que opone fuerte resistencia á la sonda y á ser removido con el zapapico. Sobre este terreno se ha extendido una capa de hormigon hidráulico de 0,15 á 0,30 de espesor bien apisonado y formando una plataforma horizontal, sobre la cual se ha asentado la primera hilada de sillería.

El hormigon hidráulico se ha formado mezclando 0,60 de piedra machacada y 0,40 de mortero hidráulico compuesto de partes iguales, de mortero comun y cal hidráulica ó cemento inferior de Iraeta, cuyos materiales bien batidos á mano sobre una plataforma de madera han producido un hormigon excelente que fraguaba debajo del agua á las 24 horas de su sumersion. Esta misma fundación se ha empleado en el lado derecho de la pila, si bien en esta parte se ha colocado en la parte inferior y despues de igualar el terreno con hormigon, un emparrillado de madera.

La sillería de los paramentos se ha asentado cuidadosamente empleando sillares de grandes dimensiones, con un metro de tizon la mayor parte, de 0,35 á 0,40 de altura, y muchos de ellos de un metro á 1,50 metros de paramento. El transporte de estos se ha hecho sobre los andamios dispuestos con una lijera inclinación desde el paraje en que se han labrado al punto de su empleo.

A medida que la sillería se ejecutaba, se recalzaba el interior de la pila con buena mampostería ordinaria, formada con grandes bloques y mortero hidráulico; bien comprimida por medio de grandes barras contra la mampostería antigua. La cantidad de cal hidráulica que entraba en la confección de la mezcla, ha

REPARACION DEL PUENTE DE ARANDA DE DUERO.



ido disminuyendo conforme la fábrica se elevaba.

La union de la nueva á la antigua mampostería, se ha hecho cuidadosamente acunándola ripiándola con esmero, atacando y comprimiendo los mampuestos unos con otros, y ejecutando esta fábrica hasta dejar esclusivmente el hueco necesario para la última hilada de sillaría, la cual se ha formado de sillarejos cortados próximamente de la forma de los huecos que resultaban, difíciles de apreciar con exactitud, por las muchas irregularidades de los sillares ó hiladas de la antigua fábrica. Para conseguir la mas íntima union posible de ambas construcciones, se han apretado fuertemente con cuñas de madera, lechada de mortero hidráulico y ripio y cuñas de piedra, los sillares entre sí, consiguiendo de este modo que la antigua fábrica de la pila asiente y descansa perfectamente sobre la nueva fundacion.

Terminado el recalce de ambos lados de la pila, se ha construido en el de la izquierda un recinto de pilotes y tablestacas de pequeña longitud, para sujetar el terreno inferior á la fundacion y evitar alguna socavacion parcial. Este tablestacado que abraza solo el nuevo cimientto se ha formado con pilotes de 1,50 metros de longitud, y tablestacas de 0^m,80 á un metro de linea por término medio, arriostradas en la parte superior á la altura de la mitad de la primera hilada: este recinto separado un metro de la fábrica de la pila se ha limpiado en su interior, enrasándole despues con buen hormigon hidráulico.

Ultimamente se han colocado al rededor de la pila en la parte recalzada, escollera de grandes bloques que han rellenado el espacio comprendido entre la ataguía de recinto y el paramento de la pila, con cuyas precauciones la nueva fábrica tiene mayores garantías de seguridad que la parte restante de los cimientos del puente, cuya fundacion, como hemos ya dicho, reúne medianas condiciones.

Hecha esta ligera descripcion de la obra, presentaremos los resultados principales obtenidos en la construccion respecto á su coste.

Ataguía de desviacion.

Su longitud 55 metros, su altura media 4^m,50

	Rs. vu.
Valor de las maderas.	2,491
Coste de 161 metros cúbicos de arcilla y tierra.	1,050
Jornales empleados en la ejecucion.	1,611
	5,152

Resulta que el metro lineal de la ataguía de desviacion ha costado 93.51 reales vellon.

Ataguía de recinto.

Su longitud de 28 metros, y 1,50 á 2 metros de altura, y 1,50 de anchura.

	Rs. vu.
Valor de la madera.	5,554
48 metros cúbicos de arcilla.	490
Jornales.	849
	1,875

Resulta que el metro lineal de esta ataguía ha costado á 174,04 reales vellon.

Fábrica.

28 metros cúbicos de sillaría.

	Rs. vu.
Saca y desbaste.	2,410
Trasporte.	980
Labra.	5,524
Asiento.	1,158
Mortero hidráulico.	800
	8,852

Resulta que el metro cúbico de sillaría ha costado 316,14 reales vellon.

64 metros cúbicos de mampostería ordinaria.

Mortero.	2,294
Mano de obra.	940
	3,234

Coste del metro cúbico de mampostería con mortero hidráulico teniendo la piedra al pie de la obra 50,55 reales vellón.

El hormigón hidráulico ha resultado á 408,40 reales el metro cúbico.

Los agotamientos 9427 reales, resultando para coste total de la obra 55.664,42 rs. vn.

De modo que habiéndose ejecutado 97 metros cúbicos de fábrica con mortero hidráulico bajo una altura de agua de cerca de dos metros, el coste del metro cúbico de recalce de esta obra á todo coste, ha resultado á 547,05 reales.

M. GARRAN.

OBSERVACIONES

SOBRE LAS LEYES EXPERIMENTALES DEL ASIENTO DE LOS TERRAPLENES, POR M. J. CARVALHO, INGENIERO DE PUENTES Y CALZADAS.

(Conclusion.)

1.^a *Ley del asiento segun la altura de los terraplenes, para una misma naturaleza de terreno y para una misma manera de ejecucion.*

El asiento es constante en las alturas observadas que tenian de 0,^m30 á 6,^m10, siempre que la altura sea un múltiplo superior ó al menos igual á tres veces el valor del asiento.

No hemos practicado experiencias directas en los grandes terraplenes de la *Creuse*, y seria muy útil comprobar si esta regularidad en el asiento es aplicable á las alturas superiores á 6 metros, ó si un término nuevo proporcional á la altura y cuyo coeficiente fuese muy pequeño para tener una influencia sensible inferior á 6 metros. debería introducirse en la ley del asiento para las alturas notablemente mayores.

A primera vista parece extraño que la ley del asiento se verifique en funcion de la altura: pero se demuestra por la observacion siguiente:

A medida que un terraplen se eleva, las capas inferiores se comprimen mas y mas por el movimiento del transporte que se opera en la parte superior, y por el peso mismo de esta masa se asientan rápidamente y llegan á un estado de equilibrio permanente, que no se altera por las variaciones atmosféricas, de las que se hallan protegidas por una capa de suficiente espesor del terraplen superior.

De manera que no hay mas que esta capa superior de un espesor sensiblemente constante para una misma naturaleza de terreno y para un mismo medio de transporte, que asiente y varíe de altura durante un cierto tiempo para llegar á un estado de equilibrio tal, que el asiento total sea sensiblemente constante.

Es evidente que cuando la altura del terraplen descende al valor mismo del asiento, no se reduce á cero, y conserva un valor finito despues de este fenómeno.

Nuestras experiencias no permiten determinar la ley del asiento para las alturas muy pequeñas, iguales ó inferiores al valor observado para el asiento. Sin embargo, la forma de los taludes, la de los perfiles y las observaciones verificadas en reducidas alturas, conducen á creer que se puede, en este caso, considerar como constante el coeficiente de asiento lineal, de la misma manera que antes hemos espuesto. Esto no pasa de ser mas que una primera aproximacion que habria necesidad de comprobar por experimentos hechos con este objeto especial, si la ley ha de presentar un interés práctico. Es cierto que este interés no existe realmente, pues no hay ejemplo de ningun accidente sucedido á consecuencia del asiento en terraplenes de una pequeña altura.

2.^a *Ley del asiento, variable, para una misma naturaleza de terreno, con el modo de transporte y las precauciones tomadas para la ejecucion de los terraplenes.*

El asiento de los terraplenes en una misma naturaleza de terreno va aumentando, segun se empleen carros, cestos ó espuelas en carretillas, la carretilla sola, el wagon; para un mismo modo de transporte el asiento