

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA 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, 6, primero derecha.

Puente de cemento armado sobre el Misisipi.

Este puente, notable por sus grandes dimensiones y por diferentes particularidades, principalmente por su disposición en curva, se ha construido en Minneápolis (Minnesota, Estados Unidos), y de él hace una detallada descripción M. P. C. en *Le Génie Civil*; de ella nos valemos para redactar esta nota.

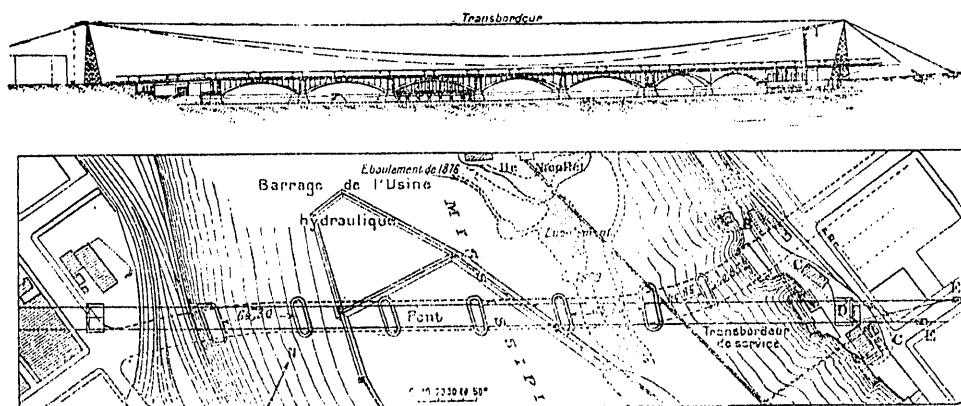
La longitud total del puente es de 677,60 metros, y se compone de siete arcos principales, que tienen los unos 64,30 metros y los otros 40,85 de longitud; los mayores, en

para que se pueda perforar fácilmente con túneles de descarga.

Las fábricas establecidas en Minneápolis se unían al río, agua abajo de los saltos, por túneles, estando las turbinas colocadas en pozos.

En 1868 se proyectó la construcción de una fábrica hidráulica de gran potencia. Debía construirse en la isla de Nicollet (fig. 1.^a) una fábrica cuyas ruedas hidráulicas habrían de moverse por el agua del río, estando constituido el canal de descarga, según la práctica local, por un túnel abierto bajo el lecho del Misisipi y que vertía el agua abajo del salto.

Este túnel, comenzado á partir de agua abajo, llegaba



Figs. 1.^a y 2.^a

número de cinco, se componen cada uno de tres arcos parciales paralelos de cemento armado que llevan un tablero, también de cemento armado, de 25,15 metros de anchura total. Los otros dos están constituidos cada uno por una bóveda rebajada.

Las aguas del Misisipi, en la región donde se ha construido el puente de que tratamos, se han utilizado desde hace largo tiempo para abastecer numerosas fábricas hidráulicas.

Una legislación, que data de 1857, ha dado á grandes Compañías industriales concesiones para la utilización de la fuerza hidráulica y las autorizaciones para construir obras de toma de agua para poner en explotación los saltos de Saint-Anthony, situados á poca distancia agua abajo del emplazamiento del puente. Las obras no presentaron dificultades al principio, porque el suelo de la región está compuesto de calcáreo duro en un espesor de 5 á 6 metros, debajo del cual se encuentra una arenisca bastante blanda

casi á orillas de la isla, á 600 metros de su origen, cuando se produjo una socavación en el cauce del río, cuyas aguas invadieron la galería, teniéndose que suspender las obras; al mismo tiempo, el calcáreo del lecho del río se deformaba en parte alrededor de la socavación. Se tuvo que recurrir á obras largas y costosas para cegar la fuga y restablecer el caudal que permitiera continuar la explotación del salto. Pero este accidente, seguido de otro derribamiento en 1876, había removido el fondo del río en la proximidad de la isla Nicollet, lo que más tarde retardó la construcción de un puente en este punto; se temía, en efecto, no encontrar un suelo suficientemente resistente para establecer los cimientos de la obra.

En 1912 se decidió la construcción de un puente sobre el Misisipi, de la tercera avenida Sur á la primera avenida SE., y se redactó un primer proyecto de cemento armado por la Concrete Steel Engineering C.^o, de Nueva York.

Este proyecto fué combatido por las Compañías que explotaban el salto, pues temían que la construcción del puente les irrogase perjuicios en sus obras. Por esta época fué cuando se eligió para Ingeniero de la ciudad de Minneapolis á M. F. W. Cappelen, que había ya construido seis puentes sobre el Misisipí, y adquirido una gran experiencia en lo referente á obras que tuvieran que hacerse en el río. Deshechó el primer proyecto y recibió del Municipio la orden de estudiar un puente metálico cuyos puntos de apoyo tuvieran la necesaria resistencia, y cuya construcción no tuviese influencia sobre las obras de toma de agua.

El segundo proyecto, redactado según estas instruc-

bos y la que separa la última de estos arcos de la primera de 40,85 metros tienen 9,15 metros de anchura.

Cada uno de los arcos de 64,30 metros de longitud está constituido por tres arcos parciales paralelos, construidos independientemente los unos de los otros y reunidos solamente por el tablero que soportan (figuras 3.^a y 4.^a). Este es también de cemento armado y se prolonga por encima de los arcos extremos.

Los dos arcos de 40,85, por el contrario, están constituidos por bóvedas macizas, es decir, que tienen toda la anchura del puente, salvo una pequeña parte en voladizo para las aceras (fig. 4.^a). Esta parte es de anchura variable, según la que determina la curvatura exterior del ta-

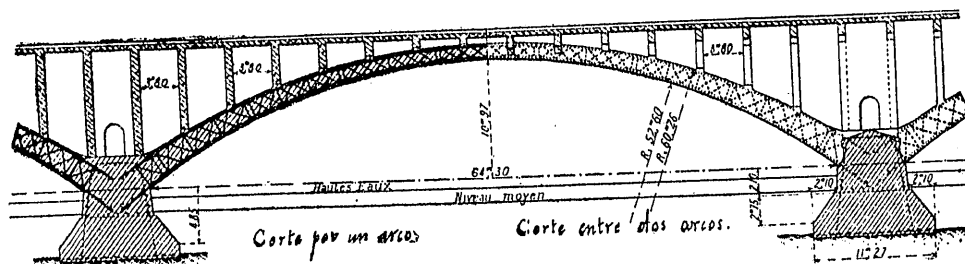


Fig. 3.^a

ciones, tenía un tramo de 132,50 metros, sobre la parte socavada del río, teniendo los otros tramos 78 metros, próximamente, de longitud.

Pero este segundo proyecto fué también abandonado por un tercero, debido como el anterior á M. Cappelen, y según el cual la hendidura del lecho podía salvarse por un tramo de sólo 64,30 metros, siendo de doble curvatura el trazado del puente; en estas condiciones, se ha vuelto al cemento armado, que permitía realizar una obra más estética. Los planos de detalle, que se suministraron también por la Concrete Steel Engineering, difieren poco de los planos primitivos. Los tramos de aproximación y la decoración de conjunto se estudiaron por el servicio municipal.

blero, estando las bóvedas mismas limitadas, á una y otra parte, por planos verticales.

El tablero es horizontal en su mayor longitud, y su pendiente de 0,2 por 100 hacia la orilla oriental y de 2,4 por 100 hacia la occidental.

Las fundaciones de las pilas se han establecido en el interior de ataguías obtenidas por medio de tablestacas de acero del tipo Lackarrana. Las dimensiones de las ataguías variaban de 7,30 x 31 metros para la pila núm. 8 á 14 x 40 metros para la núm. 7 que separa los arcos de los dos tipos. La profundidad máxima de aluvión encontrada fué de 3 metros, en la pila núm. 7, que estaba establecida al mismo tiempo en el punto más profundo del río, ó sea á 4,90 metros, lo mismo que las pilas 8 y 9; en el emplaza-

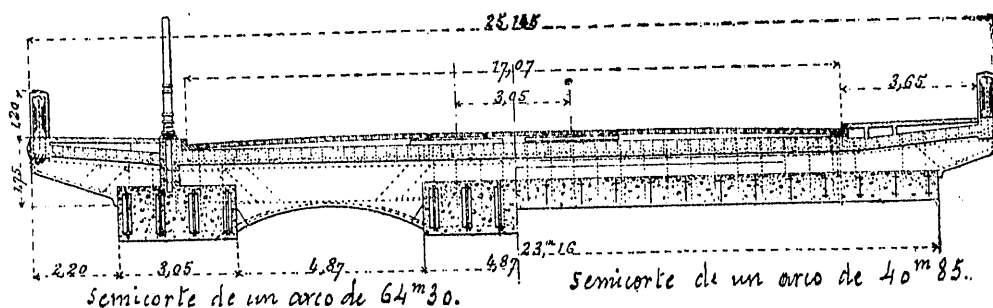


Fig. 4.^a

DESCRIPCIÓN DEL PUENTE.—El nuevo puente (fig. 1.^a á 3.^a) se compone de siete arcos principales de cemento armado. Está construido para soportar una calzada de 16,50 metros de anchura y dos aceras de 3,65 metros, debiendo la calzada recibir dos líneas de tranvías, recorridas por carruajes de 40 toneladas.

La longitud total de la obra es de 677,60 metros; su trazado es oblicuo con relación al río, y comprende dos partes curvas en los extremos en sentido inverso. Cinco arcos sucesivos tienen una longitud de 64,30 metros y los otros, en la parte en que la curvatura es más pronunciada, tienen una luz de 40,85 metros cada uno. Las pilas que separan los cinco primeros arcos tienen 6,10 metros de anchura en los arranques, mientras que las pilas-estri-

miento de las otras pilas, la profundidad variaba de 1,50 á 3,65 metros.

Las ataguías se hicieron absolutamente impermeables por medio de cenizas y de polvo fino; después de rodearlas de sacos de arena se empezó á hacer uso de las bombas. En los puntos en que era necesario excavar una cierta profundidad de limo, se emplearon cubetas dragadoras mecánicas. En las ataguías en que se producían filtraciones de agua por grietas del fondo rocoso, se suspendió el uso de las bombas y se colocó el hormigón de la parte inferior de la fundación de la pila bajo el agua, en una altura de 1,50 á 1,90 metros. Habiéndose así hecho impermeable el fondo de la ataguía, una vez fraguado el hormigón, se pudo volver á hacer uso de las bombas y construir el resto

de la pila enteramente en seco. Este procedimiento se empleó para las pilas 2, 6 y 8 y parcialmente para la 3.

Para el establecimiento de las ataguías de las pilas 2 y 3, que descansan directamente sobre la roca, á pequeña profundidad, se ha tenido que reforzar la parte agua arriba de la ataguía, que estaba sometida á una corriente violenta, colocando en la base un hierro en  (figuras 5.^a y 6.^a) de 380 milímetros de diámetro y contra el cual se apoyaban las tablestacas.



Figs. 5.^a y 6.^a

Las primeras capas de hormigón, hasta 1,50 metros de altura, próximamente, se extendieron en toda la sección de la ataguía. Contienen aquéllas una armadura de hierros redondos de 38 milímetros espaciados 40 centímetros en un sentido, y de hierros de 25 milímetros espaciados 30 centímetros en el otro sentido. Por encima se redujo la sección progresivamente para llegar, sobre el agua, á las dimensiones del proyecto; la pila se construyó entonces en un molde que se elevaba á medida que progresaba la construcción.

La construcción de las pilas se hizo en su mayor parte en invierno, con interrupciones durante los grandes fríos. Los moldes estaban completamente cerrados y rodeados de telas (fig. 7.^a) y se calentaban por medio de braseros. Las tolvas de arena y de guijarros se calentaban también y las cubetas del transformador se introducían en agua caliente de vez en cuando. La temperatura de los materiales y del hormigón se observaba cuidadosamente en el momento en que se vertían y se mantenía bastante elevada para que no se produjese ninguna alteración por la acción del frío.

La dosificación del hormigón que entraba en la composición de las pilas era de 1, 3, 6, excepto en el colocado bajo el agua, que era de 1, 2, 4. Los cimientos se comenzaron á principios del mes de Agosto de 1914 y las pilas estaban completamente terminadas á fines de Junio de 1915; durante este espacio de tiempo se colocaron mas de 20.000 metros cúbicos de hormigón.

Arcos y tablero.—Los arcos de 64,30 metros de longitud se componen cada uno de tres arcos parciales de 11 metros de flecha; el arco parcial central tiene una anchura de 4,88 metros y los laterales una de 3,05 metros, salvo para los arcos extremos en que la anchura de los arcos parciales es de 3,65 metros. La altura de estos arcos varía de 1,37 metros en la clave á 2,30 en los arranques. La ar-

madura, del tipo Melan, se compone de piezas principales de $100 \times 100 \times 12$ milímetros, formando vigas reunidas por una celosía de piezas de $75 \times 75 \times 8$ milímetros en los arranques y de planos de $63 \times 9,5$ milímetros en el resto del arco. En este sistema, el arco de hormigón contiene, por lo tanto, un arco metálico rígido completo, que forma su armadura.

Los arcos macizos de 40,85 metros de longitud tienen un espesor que varía de los arranques á la clave. Están armados, según el sistema Melan, de piezas de $75 \times 75 \times 8$ milímetros espaciadas 85 centímetros, próximamente, y reunidas por planos de 63×6 milímetros.

Sobre cada arco se elevan dieciséis pilares, espaciados 3,80 metros, teniendo la anchura del arco y un espesor de 61 centímetros. Están armados con barras verticales de 19 milímetros y con barras transversales de 12,7 milímetros, formando sobre cada cara del pilar una celosía de mallas de 60 centímetros.

Unos hierros de anclaje suplementarios solidarizan los pilares con los arcos. En fin, los pilares se unen entre sí por su parte superior por bovedillas cuya sucesión forma, con la parte superior de los pilares, una viga continua que se prolonga por dos ménsulas, á una y otra parte de los arcos extremos.

El tablero que descansa sobre estas vigas se compone de una baldosa de cemento armado de 305 milímetros de espesor para la calzada y de 230 milímetros para las aceras. Hay que notar que las vías de los tranvías que pasan por el puente están colocadas justamente en medio de la

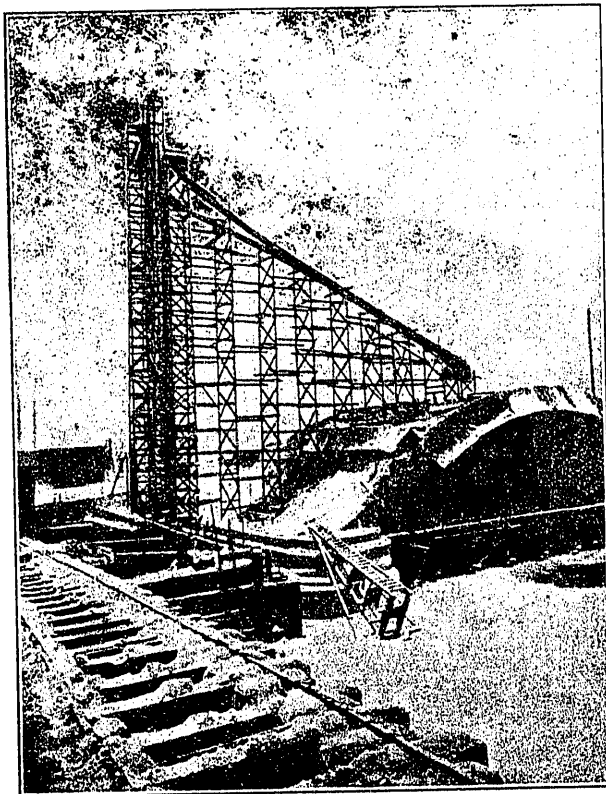


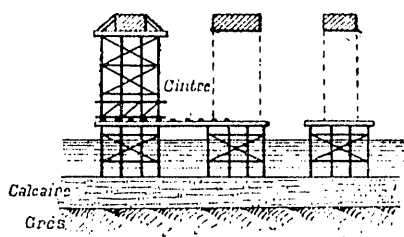
Fig. 7.^a

anchura de la obra y descansan directamente sobre el arco parcial central.

La dosificación del hormigón empleado para los arcos parciales es de 1, 2 y 4 y las piedras tienen de 6 á 12 milímetros.

Para la construcción de los tramos de 64,30 metros se han empleado unos andamiajes de madera que se com-

ponían de siete tramos sostenidos por ocho pilares (figuras 1.^a y 8.^a). Sus postes tenían una sección de $0,20 \times 0,20$ metros y estaban arriostrados por planchas de $0,25 \times 0,05$ metros. El andamiaje mismo estaba soportado por unos pilares sobre los cuales descansaba por el intermedio de hierros en  dispuestos de manera que se pudiese, una vez terminado un arco parcial, hacer rodar el andamiaje al emplazamiento del arco próximo (fig. 8.^a); un solo andamiaje servía así para los tres arcos parciales de cada arco, debiendo solamente construirse tres veces los pilares que soportaban el andamiaje propiamente dicho.

Fig. 8.^a

MATERIAL DEL TALLER Y MARCHA DE LOS TRABAJOS.—El material empleado para la construcción del puente comprendía principalmente un transportador funicular Lidgerwood tendido entre las dos orillas, sobre el emplazamiento de la obra (figuras 1.^a y 2.^a). Este transportador era doble. Tenía dos cables portadores de 63,5 milímetros de diámetro establecidos para recibir cada uno una carga de 6 toneladas que podía elevarse excepcionalmente a 10 toneladas. La luz del transportador, entre pilares, era de 615,70 metros y la flecha producida por la carga máxima llegaba a 33,50 metros. La altura de los pilares era de 50 metros, próximamente, y su anchura en la base de 12 metros por 23,35 de longitud; estaban constituidos por una fuerte armadura de abeto cuyas partes principales tenían secciones que variaban de $0,25 \times 0,25$ metros a $0,30 \times 0,35$. La coronación estaba constituida por piezas de roble de $0,50 \times 0,50$ metros de sección, que llevaban los asientos de apoyo de los cables portadores.

Empezó a construirse este transportador el 1.^o de Abril de 1914 y se terminó el 1.^o de Agosto. Su montaje se efectuó por administración, como todos los otros trabajos que se hicieron para la construcción del puente. El equipo del montaje se componía de 20 carpinteros, 7 cerrajeros y 15 auxiliares; el montaje costó 5.000 dólares, próximamente, y el material 21.000 dólares.

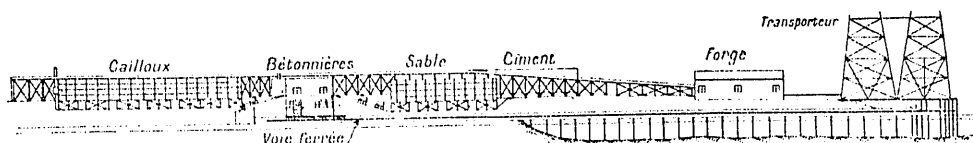
Preparación y transporte del hormigón.—A causa de no tener sitio en las orillas del río, no se pudieron instalar las hormigoneras más que en el muelle oriental, por donde pasaban unas vías férreas y por donde se tenía que dejar un paso libre. Se estableció un taller en este muelle (fig. 9.^a) para el hormigón, y la maquinaria, llevándose la madera a la orilla occidental, donde se instalaron unas oficinas, así como una grúa derrick para el montaje de las maderas para los moldes.

Las hormigoneras establecidas en la orilla oriental tenían una capacidad total de 300 metros cúbicos en ocho horas.

El taller comprendía un depósito de grava de 1.500 metros cúbicos y uno de arena de 600, a los cuales se llevaban los materiales por medio de vagones que se vaciaban por el fondo, y que circulaban sobre una estacada de 140 metros de longitud, próximamente, pasando sobre las hormigoneras. El depósito de cemento, de 6 metros de anchura y 60 metros de longitud, podía contener 5.000 barriles y estaba servido por una vía especial que lo bordeaba.

El hormigón se preparaba en dos hormigoneras de gobierno eléctrico, teniendo cada una 0,750 metros cúbicos de capacidad; estaban dispuestas para poder ser calentadas por vapor en invierno. El agua empleada para la preparación del hormigón pasaba en invierno por un recalentador de vapor. La figura 7.^a muestra cómo se vertía el hormigón en tiempo muy frío, en el último arco de 40,85 metros. Se ve que el hormigón se llevaba al molde por medio de un canal que partía de un depósito elevado, según un sistema de construcción muy usado en América.

Sobre las hormigoneras se encontraban dos vías fé-

Fig. 9.^a

Los anclajes de los cables se dispusieron en las calles y estaban constituidos por bloques de hormigón de 92 metros cúbicos, próximamente, cada uno, establecidos bajo la calzada. Los cables portadores se pusieron en su sitio con la ayuda de un cable piloto de 28 milímetros de diámetro.

Se movía el transportador por dos motores de vapor de 75 caballos cada uno, y la velocidad de movimiento de la carga era de 365 metros por minuto, próximamente.

La construcción del transportador presentó importantes dificultades a causa de los edificios que bordeaban las dos orillas y, sobre todo, por las doce vías férreas cuya circulación interesaba no interrumpir.

El transportador pudo servir para la construcción de todas las pilas, excepto la núm. 9, que se encontraba enteramente fuera de su alcance, pero esta pila-estribo estaba próxima a la instalación donde se producía el hormigón, lo que facilitó la construcción.

reas que servían para transportar el hormigón hasta las cubetas del transportador Lidgerwood. Las vagonetas que circulaban sobre estas vías estaban movidas por unos cables sin fin que se arrollaban sobre dos tambores movidos por unas máquinas de vapor reversibles.

La instalación se completaba con un taller de mecánica colocado al pie del pilar oriental del transportador, y con el depósito de las armaduras de acero, servido por una grúa derrick. El roblonado de los hierros que constituían la armadura del puente se hacía por medio de roblonadoras de aire comprimido.

En fin, los pretilos del puente están constituidos por pilastras y balaustradas de granito artificial, conteniendo partículas de mica, moldeados en moldes de acero, lo que les daba un pulimento muy notable.

El nuevo puente habrá costado unos 650.000 dólares; contiene cerca de 40.500 metros cúbicos de hormigón, 693

toneladas de acero en forma de armaduras Milán en los arcos y 800 toneladas en las otras estructuras. Los salarios pagados por la ciudad á los trabajadores eran de 4,50 á 6 dólares para los contra maestres y de 2,50 á 5 dólares para los trabajadores.

La terminación de la obra, emprendida en condiciones difíciles, honra al Ingeniero que la ha ideado y dirigido la construcción, M. Frederick W. Cappelen.

ECHEGARAY

CONFERENCIA

dada en la Asociación general de Ayudantes y Auxiliares de los Cuerpos de Ingenieros civiles del Estado

por

D. FERNANDO DE LOS VILLARES

El Presidente del Instituto de Ingenieros civiles D. Fernando de los Villares, Ingeniero de Minas, ha dado en la Asociación, arriba mencionada, una interesante conferencia sobre el tema «Echegaray y Menéndez Pelayo», de la cual entresacamos los párrafos dedicados al ilustre Ingeniero.

A dicha conferencia asistieron además de los socios, Ingenieros de todas las profesiones, que ven con gusto las veladas científicas que se están celebrando en dicho Centro. De la siguiente, que estuvo á cargo del Ingeniero de Caminos, Profesor de la Escuela de dicho Centro, don Vicente Machimbarrena, desarrollando el tema «Solidaridad social», nos ocuparemos en otro número.

Dijo el Sr. Villares después de biografiar á Menéndez Pelayo.

Tengo que hablar de Echegaray bajo dos ó tres aspectos. La figura de Echegaray presenta tantas facetas, es tan compleja, tiene una autoridad tan grande, que verdaderamente él y Menéndez Pelayo son los herederos de esos grandes polígrafos de que hablamos antes, y, porque lo son, tienen una variedad de aptitudes tan grande, había en ellos una complejidad en aquella manera de escribir y de expresarse, que verdaderamente eran tipos únicos. No se les ha hecho bastante justicia, no se la podemos hacer porque una porción de su obra desaparece enteramente y no podemos apreciar nosotros los que estamos á un nivel á ellos muy inferior. Tuvo varias características. No he de hablar del financiero, economista, orador y dramaturgo; pero hay dos ó tres caracteres suyos que se imponen y que verdaderamente hacen de él la figura que todos admiramos. Fué matemático desde el principio, de alumno después, de Profesor y de conferenciante. En sus últimos días fué el titular de una Cátedra de que hablaremos en seguida, de las matemáticas más elevadas que se conocen, explicadas por el hombre único que podía hacerlo; pero á estos títulos hay otros que añadir y que hacen de él la figura más elevada y más atractiva de cuantas nosotros podemos considerar en el campo de la ciencia española. Echegaray tenía un estilo especial. Como Menéndez Pelayo fué un joven precoz (1). Menéndez Pelayo, á los veintiún años ganó por oposición la cátedra de la Universidad que había regentado D. Francisco de Paula Canalejas y que, supernumerario, desempeñaba el que entonces llamábamos Pepe Canalejas. Asistí á aquellas oposiciones, que fueron

inolvidables, y desde que Menéndez Pelayo empezó á hablar, á pesar de lo admirador que yo era de Pepe Canalejas, comprendí que la lucha era imposible.

Pues lo mismo pasaba con Echegaray. Fué el número uno de su promoción; explicó una porción de cátedras: Cálculo, Geometría, Analítica, Mecánica, Estereotomía, Corte de piedra, etc., etc. Escribió sobre todo lo que se puede escribir de interés en la carrera de Ingenieros de Caminos; ha escrito, entre otras cosas, sobre Fuerzas vivas, Teorías modernas de la Física, Teoría matemática de la luz, Afinidad química, La ciencia y la crítica, Teoría de Galois, Termodinámica, Unidad de fuerzas materiales, más de 800 artículos en los periódicos de España y América.

Este hombre que dominaba temas tan varios ha tenido en vida la apoteosis más grande que se ha podido disfrutar nunca; ha gozado de la gloria en la escena, en las calles, en el Parlamento, en el Ateneo en todas partes; ha llegado á la cúspide, adonde no ha llegado ningún español, y á nosotros, que somos Ingenieros, esto nos tiene que servir de una satisfacción tan grande, tan íntima que creo no haya ninguna carrera que pueda ostentar semejante galardón en España.

Echegaray fué patriota hasta el punto de que, hace poco, en los periódicos se ha leído aquellas páginas que dedicaba al país en nuestras desdichas. Sus himnos al trabajo han sido de una fuerza, de una vehemencia y patriotismo tan grandes que, verdaderamente, deberían estar esculpidos en todos los talleres, escuelas, Universidades y fábricas. Echegaray se diferenciaba de una parte de nuestros sabios en que jamás fué un pesimista; al contrario, no desmayaba, porque además del trabajo y del ejemplo, tenía unas ideas tan grandes, era un poeta tan excelso que no concebía casi la miseria nuestra y la prueba de que en este cerebro existía una complejidad, como he dicho antes, tan extraordinaria, es que lo mismo habían en él la teoría de derivadas, los problemas de Geometría de dos, tres dimensiones, que las figuras de *Mariana*, *Mancha que limpia*, *Locura ó santidad* y el *Gran Galeoto*. Yo no recuerdo absolutamente de ninguno del que se pueda decir otro tanto y creo que son títulos más que suficientes para que se le llame, como á Menéndez Pelayo, heredero de los polígrafos españoles. Hay que tener en cuenta que el gran Echegaray, que había disfrutado de todos los honores, y recibido toda clase de galardones del Soberano, del país, del Parlamento y de las importantes entidades de la Nación después de cumplir setenta y dos años y á la edad en que estamos todos declarados inútiles para el trabajo, oficialmente por lo menos, echó sobre sus hombros un trabajo de una importancia, de una extensión y un alcance como tal vez ningún otro se hubiese atrevido á llevar á cabo. Le fué ofrecida la Cátedra que había dejado D. Francisco de Paula Rojas, si no recuerdo mal. Pues significaba que pensaba formar una especie de enciclopedia que abarcase treinta volúmenes. Durante once años no dejó de asistir á clase y tenía muy pocos alumnos porque se hallaban pocos en estado de comprenderle; preparaba sus lecciones y se publicaban inmediatamente. Dejó escritos los primeros once volúmenes.

¡Qué gallardía tenía este hombre! Le ha sorprendido la muerte de tal manera, que aun tenía fe y esperaba, y ahora os diré algo que os lo probará. Al frente de la Junta directiva del Instituto tuve la honra de ir á saludar á Eche-

(1) A los treinta y tres años ingresó en la Academia de Ciencias, y es el único que recordamos haya celebrado con ella las bodas de oro.