

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.

La enseñanza de las matemáticas

desde el punto de vista de la carrera del Ingeniero.

Dado el interés con que se discute hoy esta cuestión, creemos útil dar á conocer el artículo que acerca de dicho asunto publica M. P. C., en *Le Génie Civil*, haciendo del mismo un amplio resumen.

El Congreso internacional de enseñanza matemática, que se ha verificado en París, del 1.º al 4 de Abril último, se ha iniciado con una Memoria muy notable de M. Stæckel, profesor de la Universidad de Heildeberg, sobre las cuestiones que origina la preparación matemática de los Ingenieros. Esta Memoria y los diferentes modos de apreciarla han constituido el objeto de una comunicación de M. d'Ocagne, Ingeniero Jefe de puentes y calzadas, profesor en la Escuela Politécnica y en la Escuela de Puentes y Calzadas, presentada en la sesión de 3 de Abril de la Sociedad de Ingenieros civiles de Francia. Esta comunicación ha originado una discusión muy interesante, de la que vamos á dar cuenta.

Los puntos de la Memoria de M. Stæckel, sobre los cuales M. d'Ocagne llama particularmente la atención de los Ingenieros á causa de las útiles consideraciones que podrán, sin duda, hacer, son los siguientes:

1.ª Dos sistemas principales están frente á frente para la formación de los futuros Ingenieros: consiste uno de ellos en hacerles efectuar sus estudios matemáticos en una *Universidad* con los demás estudiantes, no buscando más que una pura cultura científica para dirigirles en seguida hacia escuelas estrictamente técnicas; consiste el otro en enseñarles las matemáticas superiores aparte, en una institución especial afecta á las escuelas técnicas, y formar con ella un grupo designado con el nombre de *Universidad-técnica*.

Este segundo sistema, el de las Universidades técnicas, es el que parece que debe prevalecer en la actualidad.

En Francia, en donde la enseñanza técnica ha tenido desde hace mucho tiempo una organización sistemática, resulta que, por las circunstancias históricas, esta organización se presente bajo una forma particular. Tanto es así, que el conjunto de la Escuela Politécnica y de las diversas escuelas de aplicación que de aquélla se nutren, constituye una especie de Universidad técnica. Una observación análoga puede aplicarse á la Escuela Central, si bien aquí la enseñanza es común á todos los alumnos, no

sólo durante el año de estudios teóricos, sino todavía durante los dos años de estudios técnicos.

El sistema de las Universidades técnicas, respecto á las Universidades ordinarias, tiene el inconveniente de reducir sensiblemente la emulación, pero tiene la ventaja de dar á la enseñanza de las matemáticas una orientación más favorable al desarrollo de las aplicaciones á las ciencias técnicas.

2.ª ¿En qué punto debe detenerse la enseñanza matemática dada á los futuros Ingenieros? ¿Conviene limitarse á los primeros elementos del cálculo diferencial é integral, ó bien es necesario tener en cuenta, en una cierta medida, el desarrollo adquirido por las matemáticas modernas? En el seno de la Conferencia internacional la tendencia fué de no proscribir sistemáticamente todo lo que pase, por poco que fuere, de los elementos clásicos. No puede saberse, en efecto, qué desarrollo tomará la técnica el día de mañana. Puede que tal teoría, que aparece hoy como puramente abstracta, sea susceptible, dentro de algunos años, de intervenir útilmente en una aplicación técnica. Desde este punto de vista el ejemplo del cálculo de las cantidades imaginarias es característico. ¿Quién hubiera creído, hace cincuenta años, que viniera á ser, en manos de los electrotécnicos, una teoría tan verdaderamente útil como es en la actualidad? Bueno es que los Ingenieros se pongan en estado de comprender por lo menos el sentido de las principales novedades matemáticas á fin de tener la posibilidad, si llegara el caso, de sacar partido de ellas para tal ó cual objeto que les interese.

3.ª En cuanto al tiempo que se ha de consagrar á los estudios matemáticos superiores, preparatorios de los estudios técnicos, la opinión dominante es que no deben reducirse á menos de dos años.

4.ª Otra importante cuestión que ha sido examinada es la elección del Cuerpo que ha de enseñar las matemáticas á los Ingenieros. ¿Debe preferirse á los técnicos ó á los matemáticos de profesión? Sobre este punto no vacila M. Stæckel en dar la preferencia á los matemáticos. No se puede, en efecto, dice, enseñar ninguna cosa que no se domine en el más alto grado. Es evidente que á esta aptitud matemática indispensable es conveniente que el profesor una un conocimiento bastante exacto de las necesidades del Ingeniero, pero no parece que deba recomendarse el sistema de confiar tal enseñanza á Ingenieros que no tengan el dominio de las matemáticas, habiéndose limitado tan sólo á la práctica corriente.

La discusión de esta Memoria ha dado lugar á las observaciones siguientes:

M. F. Chandy, Ingeniero de artes y manufacturas, emite la

opinión de que conviene dar la enseñanza matemática superior á los futuros Ingenieros en una Universidad técnica. En este caso, el Consejo de este establecimiento puede servir de intermediario entre los profesores matemáticos y los de ciencias aplicadas con objeto de que los primeros no enseñen más que la parte de su ciencia que pueda servir al Ingeniero.

El matemático de la Sorbona tiene, naturalmente, tendencia á llevar su enseñanza más lejos de lo que es ciertamente necesario para la formación del Ingeniero.

M. C. Monteil, doctor en ciencias y profesor de la Escuela Central de Artes y Manufacturas, hace algunas observaciones sobre la preparación de los candidatos á las escuelas de Ingenieros.

Dice, en primer lugar, que la mayor parte de las grandes escuelas técnicas francesas poseen sus cátedras teóricas; lo que dispensa á sus alumnos de una asistencia preliminar á las facultades de ciencias, pero, en cambio, estos alumnos deben sufrir, en las clases de matemáticas especiales de los liceos, una preparación muy larga.

La crítica de esta larga preparación conduce á M. Monteil á analizar el papel de las matemáticas en la preparación de las escuelas técnicas. Este papel es doble. En primer lugar, la enseñanza de las matemáticas debe procurar una documentación preliminar de métodos y de fórmulas, pero este primer punto de vista está lejos de justificar un desarrollo tan importante de las matemáticas especiales, puesto que el auxilio reclamado, por las aplicaciones, á las matemáticas puras es pequeño.

En segundo lugar, que es el más importante de la cuestión, el papel que desempeñan las matemáticas en la formación intelectual del cerebro. Aquéllas le proporcionan las cualidades (sólidas) de exactitud, de rigor, y las (sutiles) de finura y de ingeniosidad, cualidades todas para las cuales las demostraciones del álgebra son las más eficaces de las preparaciones.

Pero es necesario no perder de vista que las matemáticas no son el único método de formación intelectual; hay otros estudios que llevan al mismo fin con modalidades diferentes, y hay que tenerlos presentes para no establecer en las preparaciones programas demasiado estrechos.

M. d'Ocagne cita un cierto número de ciencias que constituyen el intermediario entre el campo de la ciencia pura y el de las aplicaciones; tales son: la Elasticidad y la Hidrodinámica. No cabe duda que los problemas concretos que en ellas se plantean interesan en alta grado al Ingeniero, pero se traducen por ecuaciones diferenciales rebeldes á toda integración, y tras las cuales la solución parece más oculta todavía que lo era en el enunciado primitivo.

De aquí que haya sido necesario crear otras ciencias de ingeniería, cuales son: la Resistencia de materiales y la Hidráulica, en las que la determinación experimental directa de algunas funciones desconocidas y también alguna condescendencia en el razonamiento, permiten llegar hasta las soluciones numéricas.

M. Monteil propone conservar la enseñanza elevada de las matemáticas, pero pide, enérgicamente, que se reduzca la permanencia en las clases de matemáticas especiales.

M. Ch. Rabut, Inspector general de Puentes y Calzadas, jubilado, dice que el más grave inconveniente que tiene el sistema francés de preparación matemática de los Ingenieros es, seguramente, la exageración del tiempo que se pasa en las clases de matemáticas llamadas elementales, superiores y especiales (cuatro años, por término medio, para la preparación en la Escuela Politécnica), comparado con el tiempo acordado para la enseñanza técnica propiamente dicha (dos años y medio en la Escuela de Puentes y Calzadas).

Este contrasentido proviene de que el concurso decisivo ha sido colocado, no á la salida, sino á la entrada en las grandes escuelas. Los candidatos se ven casi obligados á seguir dos veces los cursos elementales, y dos, tres, cuatro y aun cinco veces, los cursos especiales, mientras que no siguen más que una vez, y muy rápidamente, los cursos técnicos de las escuelas.

Otro inconveniente, no menos grave, es que el objeto de los cursos especiales es, por decirlo así, *deportivo*, sin valor educativo, extraño á la formación del Ingeniero; ejemplos: las reglas de convergencia de las series, la teoría general de las ecuaciones algebraicas, el estudio de las líneas y superficies de primero y segundo grado por medio de sus ecuaciones generales (puede decirse que es una batería de artillería para matar á un pájaro).

Estos defectos de la enseñanza han engendrado un mal cada vez mayor, señalado por los Ingenieros profesionales: el abuso del cálculo en la ciencia aplicada.

Para probar sus asertos, M. Rabut cita varios ejemplos tomados de las materias que ha enseñado, entre ellas la construcción, y dice: «Entre las construcciones de mampostería, las bóvedas, que casi no se calculan, dan lugar á pocas equivocaciones; las grandes presas, por el contrario, cuyas dimensiones son rigurosamente determinadas por el cálculo, perecen con bastante frecuencia por algún accidente.

»Entre las construcciones metálicas, los primeros puentes construidos por Brunel y Stephenson, casi sin cálculo, pero previo examen de un modelo reducido, están todavía en pie, mientras que después, millares de obras, pequeñas y grandes, establecidas sobre cálculos minuciosos, han perecido al cabo de pocos años y á menudo durante su construcción. El examen de las obras en servicio lo muestran plenamente, acusando deformaciones muy diferentes de lo que anunciaba el cálculo usual, principalmente en las barras de las celosías y las armaduras en arco.

M. Rabut concluye deseando:

1.º Que, salvo los primeros elementos, la instrucción matemática se dé á los futuros Ingenieros, no en la Sorbona, sino en las escuelas técnicas, por Ingenieros que hayan practicado su arte con provechosos resultados.

2.º Que esta instrucción se limite á lo estrictamente necesario, siendo el primer principio de la enseñanza subordinar el empleo del método deductivo al del método experimental, *de no calcular jamás lo que se puede medir.*

M. R. Soreau, Ingeniero civil, antiguo alumno de la Escuela Politécnica, dice que él ha podido apreciar lo bien fundadas que están las críticas de M. Monteil acerca de la larga preparación dada en la clase de matemáticas especiales. Por otra parte, los alumnos sufren en ella un aplanamiento abusivo. Los programas actuales comprenden casi todas las materias de hace treinta años, aumentados con una notable parte de los cursos de análisis y de mecánica que se aprendían entonces en la Escuela Politécnica. El desarrollo dado al cálculo diferencial é integral es una innovación excelente, pero hubiera sido necesario aligerar en otro tanto los programas en otras cosas; este aligeramiento hubiera sido fácil y aun provechoso, porque habría permitido al profesor destacar más vigorosamente las teorías generales, las únicas importantes.

Los inconvenientes de tal sistema son graves: fatiga marcada de la mayor parte de los alumnos, en lugar de tener cuidado de hacerles entrar frescos y dispuestos en las escuelas técnicas que van á exigirles un esfuerzo importante; prolongación excesiva y sin provecho de los años pasados en el colegio; rendimiento en definitiva mediano, puesto que se expurgan las clases de ciencias en provecho de las matemáticas especiales para no llevar más que una parte de los alumnos á las escuelas técnicas.

M. Soreau propone rebajar los límites de edad; de este modo, no entrarían en especiales más que los jóvenes suficientemente seguros de sí mismos; en cuanto á los otros, sería hacerles un favor el que orientasen su actividad hacia carreras diferentes.

En lo que se refiere á la enseñanza matemática en las escuelas técnicas, M. Soreau no concibe que puedan reducirse al papel estrictamente utilitario; además, no se conocen las contingencias de la práctica más que en el momento presente, y las nociones teóricas adquiridas en las escuelas deben servir para toda la vida. Por el contrario, es necesario dar á los Ingenieros una cultura matemática extensa, que conviene no solamente á las necesidades de la técnica actual, sino también á las necesidades desconocidas de la técnica de mañana, que le permitirá colaborar en los progresos incesantes de la ciencia, ó, por lo menos, seguir su desarrollo.

M. d'Ocagne, respondiendo á las indicaciones de M. Soreau, relativas al programa de admisión en la Escuela Politécnica, hace notar que si se han aumentado á este programa ciertas materias, en cambio se han excluido otras, pero M. Soreau sostiene que la suma de las materias añadidas excede en mucho á la de las suprimidas.

M. Androuin remite una nota en la que expone la opinión de que la enseñanza de las ciencias puras y la de la técnica deben darse al mismo tiempo, á fin de que el futuro Ingeniero viva lo más posible en un ambiente propio para que se penetre claramente de su profesión.

Conviene por otra parte reducir al minimum la duración de los estudios. En efecto, cuando los estudios son demasiado largos, el Ingeniero se inicia en la industria á una edad en la que no es muy fácil disponer de un periodo de aprendizaje, sin el cual es extremadamente difícil adquirir esa intuición que es tan necesaria en la industria. Los estudios demasiado largos tienen también el inconveniente de ser excesivamente costosos y de excluir así de la carrera de Ingeniero á muchos alumnos que no poseen la suficiente fortuna.

ESTACIONES CENTRALES Y DE DISTRIBUCIÓN

Distribuciones de electricidad en las grandes poblaciones.

(The Electrical Review.)

G. Klingenberg ha presentado, respecto á este asunto, una Memoria en el Instituto of Electrical Engineers. Desde el punto de vista de la producción y de la distribución de energía eléctrica, compara las poblaciones de Londres, Berlín y Chicago, poniendo de relieve la inferioridad de las distribuciones londinenses desde el punto de vista de la utilización de las estaciones centrales. Examinaremos con el autor las causas de esta inferioridad.

Primeramente, el consumo de corriente en kilovatios-hora por habitante puede calcularse aproximadamente en las cantidades siguientes:

	Kilovatios-hora.
Chicago.....	310
Berlín.....	170
Londres.....	110

Se ve, pues, desde luego, que en estas dos últimas poblaciones el consumo de energía es susceptible de un aumento considerable.

Por otra parte, es un hecho, que llama poderosamente la aten-

ción, el de que en Londres la producción de corriente se reparte entre un gran número de estaciones pequeñas, mientras que en Chicago, por el contrario, predomina el sistema de la centralización; de ello resulta grandes diferencias en el precio de coste de las instalaciones por kilovatio-hora de potencia. Estos se elevan:

En Berlín, á 1.190 pesetas oro por kilovatio instalado.

En Chicago, á 1.500 ídem íd.

En Londres, á 1.830 ídem íd.

Ahora bien, resulta imposible sacar conclusiones del precio de coste del kilovatio instalado en Chicago, mientras que la comparación entre Berlín y Londres se hace posible en razón de las menores divergencias en las condiciones de existencia y en las de instalación de las redes. Esta comparación puede efectuarse observando los cuadros I y II.

CUADRO I

	BERLÍN 1911-1912	CHICAGO 1911	LONDRES 1910-1911
Explotadores.....	Berlinerelektricitäts-Werke....	Commonwealth Edison C. ^o	Servicios municipales y diversas Compañías de Londres y sus alrededores.
Población aproximada (habitantes)...	2.600.000	2.200.000	6.500.000
Estaciones centrales:			
Número.....	6	6	64
Potencia instalada (kv.).....	137.000	221.700	298.400
Ídem media (kv.)...	23.000	37.000	4.670
Valor efectivo (pesetas oro).....	162.557.500	332.716.250	544.075.000

CUADRO II

Precio del kilovatio instalado.

	BERLÍN	CHICAGO	LONDRES
Estación central (pesetas oro).....	441,91 38 %	596,37 40 %	827,50 45 %
Red de distribución, comprendidos los contadores (pesetas oro).....	740,11 62 %	904,07 60 %	996,25 55 %
	1.187,02 100 %	1.500,44 100 %	1.823,75 100 %

Se ve, pues, que los gastos totales por kilovatio instalado, con estaciones centrales de 5.000 kilovatios aproximadamente, son mayores en un 50 por 100 aproximado, que los que se alcanzan con estaciones centrales de 25.000 kilovatios. Esta diferencia es todavía mayor si, haciendo abstracción de los gastos correspondientes á las redes de distribución, solamente se consideran los de las estaciones por sí mismas, alcanzando en esta forma una diferencia del 80 al 90 por 100. Es igualmente notable la relación entre el precio de coste de la central y el de la red, comprendido los contadores. En Chicago y Berlín es aproximadamente, de 40 : 60, y en Londres de 45 : 55. Por consiguiente, se saca en conclusión, que el precio de coste de la Estación central decrece cuando aumenta su potencia.

En lo que se refiere al consumo de corriente, las distribuciones de las tres poblaciones se caracterizan dentro de las proporciones siguientes: