

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, 8, primero derecha.

LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

EN LAS

ESCUELAS DE INGENIEROS

POR

D. ALFREDO MENDIZABAL

PROFESOR DE LA ESCUELA DE INGENIEROS DE CAMINOS (1)

No sé si alguien encontrará poco adecuado á los fines de este Congreso el tema de que me propongo tratar, juicio que acaso confirme mi poca fortuna al desarrollarlo; pero no es dudoso que fomentar en el mayor grado que se pueda la afición á las especulaciones de las ciencias físicas en la brillante juventud que hace sus estudios de ingeniería, ha de contribuir de consuno á elevar la ilustración general y á hacer prosperar el estudio de ciencias que los Ingenieros debemos mirar con la mayor predilección, pues en ellas buscamos base firme para nuestros estudios de aplicación; y al fin y al cabo, no me guía otro propósito que contribuir, en la medida escasa de mis fuerzas, á que se desenvuelvan las enseñanzas de la Física cada vez con mayor eficacia.

Define el plan de enseñanza de cada escuela una *serie* de asignaturas que en su conjunto comprenden los conocimientos precisos para el ejercicio de cada profesión. En esta serie se asigna á cada término *magnitud y posición*, ateniéndose para ello á conveniencias de orden superior, de lo cual suele resultar para muchas asignaturas, y singularmente para la Física general, espacio reducido y posición relativa no la más conveniente.

Disponiéndose de un número de lecciones muy corto, es forzoso estudiar los programas con el mayor cuidado para no eliminar de ellos por completo materias que deban ser conocidas. Esto constituye una dificultad muy grave, pues estamos viendo á cada paso cómo nacen aplicaciones interesantísimas de experimentos y teorías que no daban maestras iniciales de ofrecer la menor utilidad; y además, porque es preciso procurar á nuestros alumnos ilustración extensa en cuanto se refiere á esta ciencia, pues sólo así se darán cuenta de la gran complejidad que en general pre-

sentan todos los fenómenos de la Naturaleza, y cómo al analizarlos y desmenuzarlos para acometer su estudio, simplificando las cuestiones, reduciéndolas á términos que las hacen manejables con los medios de que para ello disponemos, ya sea experimentando en el laboratorio, ya proyectando y calculando en nuestro gabinete de estudio, nos podemos alejar de la realidad y, por consiguiente, cómo al llevar á ejecución sus planes y proyectos el Ingeniero que se halla frente á frente con la Naturaleza, ó con instalaciones industriales, sin que pueda violentar, ni reducir, ni simplificar nada, acaso tropiece con efectos que trastornen sus previsiones, pero contra los cuales se hallará aperechado y pertrechado.

Para abordar con provecho el estudio de la mayor parte de las teorías físicas, es base indispensable poseer conocimientos de matemáticas y mecánica general. En nuestro caso, la preparación matemática suele ser suficiente para la exposición elemental de aquellas teorías; en cambio, la preparación de mecánica no lo es, porque unas veces ambas enseñanzas se simultanean, y otras la Física se estudia antes. Resulta de esto la necesidad imprescindible de incluir en nuestros programas algunas nociones elementales de Mecánica general, que aun reducidas á definiciones razonadas de las principales magnitudes mecánicas, demostraciones sencillas de las relaciones fundamentales que entre ellas existen, y exposición breve de la teoría de los movimientos vibratorios, exigen tiempo y ocupan espacio de que necesitamos ser avaros.

En cuanto á la preparación matemática, no podría considerarse suficiente si no comprendiera nociones de Cálculo infinitesimal, pues en la mayoría de los casos, cuando queremos representar analíticamente el desenvolvimiento de un fenómeno físico, no podemos aplicar nuestras hipótesis y nuestras leyes más que á transformaciones infinitamente pequeñas. Y, en definitiva, el dedicar en un curso de Física algunas lecciones á la Mecánica, no choca ni contra la tradición ni contra el modo de pensar de muchos que no ven en esta ciencia más que un capítulo de aquella; en cambio, sería lamentable por todos estilos destinar una parte de nuestro tiempo al estudio de la análisis, y su desconocimiento nos obligaría á procesos de cálculo muy laboriosos y nos imposibilitaría hasta la exposición más elemental de algunas cuestiones.

Teniendo en cuenta que al trazar en sus líneas generales el plan de una enseñanza, no sólo ha de preocuparnos

(1) Memoria presentada al Congreso celebrado en Valencia por la Asociación para el progreso de las ciencias.

formar á modo de un catálogo de conocimientos, sino también indicar los *procedimientos*, y éstos se han de establecer tratando de *educar* á los escolares en la dirección y sentido más convenientes, estimo que en nuestros programas deben aparecer tres partes: la 1.^a, relativa á las enseñanzas teóricas en las clases orales; la 2.^a, de experimentos y manipulaciones en el laboratorio, y la 3.^a, de problemas, discusiones analíticas y gráficas y proyectos que individualmente han de ser estudiados por todos los alumnos. Aunque muy ligadas entre sí estas tres partes, y sin perjuicio de que las 2.^a y 3.^a constituyan verdaderos complementos de la 1.^a, creo que cada una debe tratarse como si tuviera vida propia y constituyera una enseñanza especial. Y para concretar y definir mejor mi modo de ver la cuestión, mostrando cómo puede organizarse esta enseñanza con la esperanza de conseguir efecto útil satisfactorio, á pesar de lo desfavorable de las condiciones de espacio y posición que dejo indicadas, doy á continuación un bosquejo ó esquema de programa, que luego comentaré brevemente.

PROGRAMA DE FÍSICA GENERAL

1.^a Parte.—LECCIONES ORALES.

Preliminares.—Nociones de Mecánica.—Sistemas de unidades.—Teoría de errores y cuadrado mínimo.—Óptica geométrica aplicada al estudio elemental de los aparatos ópticos.—Procedimientos de laboratorio para medición de longitudes, ángulos, masas y tiempos.

Conceptos de materia y energía.—Teorías físico-químicas relativas á la constitución de la materia, estados y fases.—Formas de la energía.—Principios de la conservación de la materia y de la energía.—Nociones de termodinámica.

Propiedades generales de los cuerpos.—Estudio de la gravitación.—Propiedades y función característica de los cuerpos gaseosos, líquidos y sólidos.—Cambios de estado. Acciones moleculares.—Aplicaciones: pesos y densidades; viscosidad y tensión superficial; presiones y deformaciones; termometría y calorimetría.

Radiaciones.—Sonido: producción, propagación y percepción; análisis y síntesis.—Estudio general de las radiaciones debidas á diferencias ó variaciones de potencial.—Influencia de los medios en la propagación.—Interferencias y polarización.—Radiometría.

Conducción.—Conducción del calor y de la electricidad. Flujos eléctricos y magnéticos.—Descarga eléctrica á través de líquidos y gases.—Pilas eléctricas.

Nociones de las teorías cinética y electrónica de la materia.

2.^a Parte.—TRABAJOS DE LABORATORIO.

I. Medición de longitudes, ángulos, masas, tiempos y períodos.

II. Estudio experimental de aparatos ópticos.

III. Estudio experimental de campo de fuerza.

IV. Observaciones y manipulaciones con barómetros y manómetros, termómetros, calorímetros, electrómetros, magnetómetros, galvanómetros y radiómetros.

V. Determinación de coeficientes específicos.

VI. Observaciones fotométricas y espectroscópicas, y experimentos relativos á interferencias y polarización de la luz.

VII. Experimentos relativos á la descarga eléctrica á través de líquidos y gases, radiaciones diversas y ondas hertzianas.

3.^a Parte.—TRABAJOS ANALÍTICOS Y GRÁFICOS.

I. Problemas y discusiones de óptica geométrica y proyectos de aparatos ópticos sencillos.

II. Representaciones y problemas relativos al estudio de campos de fuerza.

III. Problemas relacionados con la determinación y aplicaciones de la función característica de los cuerpos.

IV. Proyectos de aparatos para medición de magnitudes físicas.

Desde luego se advierte que la *amplitud* de las tres partes no es igual. Así como dentro de las condiciones en que se desenvuelven nuestras enseñanzas, en las lecciones orales puede alcanzarse cuanta extensión se desee, pues cabe reducir y sintetizar, y se consigue una iniciación general para que los alumnos adquieran la ilustración completa, necesaria por las razones ya aducidas, en cambio no es posible mantener esa orientación para los trabajos de *Laboratorio y Gabinete*, en los cuales la materia forzosamente se especifica y concreta.

La estructura de la primera parte acusa claramente de qué manera estimo practicable condensar y sintetizar las teorías físicas para conseguir gran velocidad de exposición; pero he de añadir algo respecto á procedimientos en estas lecciones.

No cabe discutir la conveniencia de ilustrar las conferencias, realizando cuantos experimentos consientan los recursos de que se disponga, que, sobre todo con ayuda de aparatos de proyección, pueden ser muy eficaces para atraer y fijar la atención de los alumnos, facilitándoles el conocimiento de muchas cuestiones y favoreciendo el ejercicio de la memoria.

Es muy general que el profesor se vea obligado á corregir algo que suele constituir á modo de un vicio de educación científica de sus discípulos, vicio que se traduce por una especie de amaneramiento en cuanto al modo de entender y asimilar; durante años no han tenido más preocupación que el estudio de la ciencia matemática, y sus métodos, y hasta el detalle que pudiéramos llamar *mecánico* de sus procedimientos, han encajado tan fuertemente en su inteligencia, que si ello les da grandes ventajas para muchas clases de trabajos, parece que no les consiente tratar los asuntos más que bajo un aspecto y desde un punto de vista. En comprobación de esto haré alguna indicación concreta deducida de una verdadera experimentación en cátedra.

Se trata, por ejemplo, de establecer la teoría de los métodos calorimétricos por radiación, y buscamos una expresión analítica lo más sencilla posible, y que podamos aceptar para relacionar tiempos, temperaturas y una magnitud física tal como el calor específico de alguna substancia.

Suponemos aplicable la ley de radiación de Newton, y deducimos fácilmente la ecuación que liga las variaciones infinitesimales de las variables tiempo y temperatura con otras magnitudes físicas que tratamos como constantes; y en cuanto se ha deducido esa ecuación, siguiendo un sencillo proceso matemático se llega á la ecuación con térmi-

nos finitos susceptible de utilización inmediata en los experimentos de Laboratorio.

Pues bien, es difícil convencer á nuestros alumnos de que ese proceso matemático no es ni debe ser mirado como la parte capital de esta pequeña teoría; que, por el contrario, le debemos conceder muy pequeña atención en nuestras explicaciones, y que, en cambio, son de verdadero interés é importancia los razonamientos á que hemos de acudir para formular la primera ecuación, que nos hace pasar (no sin sacrificar la exactitud á la sencillez) de realidades físicas ó abstracciones matemáticas.

Pero hay más; si se da á escoger entre dos caminos para llegar á un mismo resultado, suelen preferir aquel que parece encajar mejor en lo que podría calificarse de *rutina matemática*. Buen ejemplo de ello es lo que he podido observar al deducir, como consecuencia de los principios fundamentales de la termodinámica, la ecuación de Clapeyron relativa al estudio de los cambios de estados físicos. En una transformación elemental nos dicen esos dos principios que son diferenciales exactos tanto el incremento infinitesimal de energía del sistema, como el de la entropía; y las dos condiciones analíticas indicadas nos permiten llegar á la ecuación citada. De otra manera conseguimos lo mismo, figurando un ciclo de Carnot, formado por dos isothermas infinitamente próximas y dos adiabáticas separadas por la distancia finita que corresponde al trayecto de las isothermas paralelo al eje de los volúmenes; suponiendo recorrido ese ciclo completo, la equivalencia de cantidades de trabajo mecánico y calor puestos en juego durante la evolución total, nos lleva rápidamente á nuestro objeto. Por este segundo método apenas hay cálculos que hacer, mientras por el primero son bastante laboriosos, y, sin embargo, este primero suele ser preferido como más conforme á hábitos fuertemente arraigados.

Aún otro ejemplo: establecemos para abordar el estudio del campo de la gravedad terrestre, que la acción de una capa esférica homogénea es nula para cualquier punto interior, é igual que si la masa se hubiera condensado en el centro para cualquier punto exterior. Se demuestran estas dos proposiciones por medio de artificios geométricos no muy complicados ni muy difíciles de retener; pero es mucho más sencillo, cuando se han hecho estudios previos relativos á campos de fuerza, demostrar que el campo se anula en el interior de la capa esférica, y en el exterior es igual, cualquiera que sea el radio de la esfera sobre la cual se extiende la masa total de aquella capa, con tal de que siempre el centro sea el mismo, é igual aunque el radio decrezca ilimitadamente. Pues también estos últimos razonamientos tan claros, elementales y sencillos, parecen á nuestros alumnos menos dignos de ser recordados que aquellas artificiosas demostraciones geométricas.

He insistido alegando casos prácticos para dar base experimental á mi afirmación de que existe vicio de educación científica en la preparación para ingreso en nuestras Escuelas especiales; y no porque la cantidad de conocimientos matemáticos sea excesiva, sino porque dedicados los estudiantes exclusivamente á estas ciencias en época de su vida en la que su inteligencia conserva *plasticidad*, debe sufrir á modo de una *deformación permanente*, que ha de influir en sus desenvolvimientos sucesivos. Así se ha reconocido, y efecto de ello son las reformas de los planes de enseñanza que van apareciendo.

De todos modos, ahora, y por algún tiempo, nos encon-

traremos en nuestras aulas de Física con alumnos más propicios á considerar esta ciencia como un nuevo capítulo de la Matemática aplicada, que como estudio de la realidad física que nos rodea; y como no hemos de prescindir del auxilio del Cálculo y de la Geometría, que son para nosotros verdaderos instrumentos de trabajo, teniendo en cuenta nuestra misión educadora habremos de esforzarnos en restablecer el equilibrio intelectual extremando cuanto sea posible en nuestras explicaciones el empleo de los procedimientos que reduzcan á un mínimo los procesos matemáticos.

Así, por ejemplo, al estudiar el movimiento pendular como tipo y modelo de movimientos vibratorios, podremos empezar por aceptar como aplicable al caso la función sinusoidal, que es, entre todas las periódicas imaginables, la más sencilla que hallamos; de esto deducimos facilísimamente como causa posible del movimiento la acción de fuerzas que tienden á llevar el móvil á su posición de reposo, con intensidades proporcionales á las desviaciones. De esta manera el estudio elemental del movimiento simple pendular exige muy poco andamiaje matemático. La fórmula que mide la convergencia de una lente se deduce, sencillamente, por medio de las teorías elementales de Óptica geométrica; pues bien: podría establecerse por medios experimentales demostrando que esa magnitud es sencillamente proporcional á la diferencia de índices de refrangibilidad del medio ambiente (tomado como unidad) y del vidrio que forma la lente, y á la curvatura total de la lente, y que además es sencillamente igual al producto de estos dos factores.

Análogamente, en multitud de ocasiones, aun perjudicando al rigor científico de la exposición, puede reducirse el empleo de la Matemática, y así acostumbrar á nuestros alumnos á otros procedimientos, y á colocarse en puntos de vista más variados, para enfocar las cuestiones de más diversas maneras.

Y no continúo ocupándome en esta parte del programa, pues al detallar los métodos de enseñanza se viene á dar en materia en la que es aventurada cualquiera generalización. El profesor debe resolver en cada caso, escogiendo el sistema que crea más eficaz para que el alumno de condiciones medias, con un esfuerzo razonable, alcance un grado aceptable de aprovechamiento. Las circunstancias que deben influir en su resolución son muchas: índole de las materias, número y estado de preparación de los discípulos, amplitud en tiempo de que dispone, recursos experimentales con que cuenta y hasta sus propias condiciones. Cualquier disposición reglamentaria que cohiba la libre acción del profesor, más propicia es á crear dificultades que á mejorar la enseñanza.

El programa de Trabajos de Laboratorio tiene carácter muy distinto del relativo á la 1.^a parte. Mientras el uno es esencialmente sintético y general, como dirigido á procurar, mediante esfuerzo relativamente pequeño, ilustración bastante completa en materias muy vastas, el otro forzosamente ha de ser limitado y concreto; por ello no debe ser tachado de insuficiente, pues, en primer lugar, sería salirse de la realidad de las cosas suponer la posibilidad de que los alumnos de nuestras clases realicen toda especie de experimentos relacionados con sus estudios teóricos; y además, porque, sobre todo, este grupo de enseñanzas tiene por objeto familiarizarlos con el manejo de aparatos de precisión, habituarlos en la práctica de ope-

raciones de medición y, en suma, educarlos en el sentido de hacer de ellos buenos experimentadores. En su conjunto, esta 2.^a parte es á modo de un curso de *Metrología*, para el cual las enseñanzas que se van recibiendo en las lecciones orales son preparación indispensable; es, además, complementaria de la 1.^a parte, pues permite eliminar de las enseñanzas de cátedra el detalle enfadoso de la descripción de aparatos, que nunca se darán á conocer de un modo suficiente mostrándolos de lejos, ni aun acudiendo á representaciones gráficas muy minuciosas.

La mayoría de las mediciones y manipulaciones deben ser ejecutadas individualmente por todos los alumnos, lo cual exige disponer de instrumental adecuado por su solidez y sencillez relativa; por esto es necesario, además, que el profesor, en presencia cada vez de unos pocos, y con su concurso activo, realice algunos experimentos con aparatos de más difícil manejo y mayor complicación.

Tampoco entro en detalles de procedimientos para estas enseñanzas de Laboratorio, por razones análogas á las que indiqué al tratar de la 1.^a parte del programa.

Para la 3.^a parte, la limitación de materias ha sido mucho mayor, escogiendo aquéllas que se prestan mejor á esta clase de labor gráfica y analítica, y que, además, pueden servir de complemento á los estudios de cátedra y laboratorio. En último lugar, y como remate y coronación de estas enseñanzas, se han de proyectar aparatos para medición de magnitudes físicas; conocidas las teorías admitidas para establecer los procedimientos, conocidos y manejados los aparatos análogos del laboratorio, el alumno está capacitado para proyectar, y así se va educando para esta función, una de las más importantes que ha de ejercer en lo porvenir.

Con el esquema de programa que he consignado y los comentarios y explicaciones que le siguen, he querido demostrar la posibilidad de dar una enseñanza eficaz y orientada en sentido conveniente dentro de las condiciones de espacio y lugar que suelen ser concedidas á la Física en nuestras Escuelas especiales. Las soluciones que así puedan alcanzarse no podríamos estimarlas como suficientes, si no tuviéramos en cuenta que muchas de las asignaturas que sucesivamente se han de estudiar encierran el desarrollo de lo que podemos llamar capítulos de aquella ciencia. Sin embargo, de cada vez es preciso dar á las materias de aplicación inmediata mayor amplitud y desarrollos más extensos; de cada vez, por falta de espacio para todo, las generalizaciones y especulaciones de carácter científico se van reduciendo á lo que se cree más indispensable; y, en suma, juzgando con criterio que acaso pueda tacharse de egoísta ó absorbente, si al final de la carrera hacemos balance de los conocimientos de Física adquiridos por nuestros alumnos, no podemos darnos por satisfechos. Empezaron dedicando sus esfuerzos únicamente á las abstracciones matemáticas, y luego, muy breve y rápidamente, queremos instruirlos en el conocimiento general de los fenómenos físicos, de qué manera, para utilizarlos de un modo eficaz y mediante hipótesis que procuremos justificar, construimos teorías, las desarrollamos y las contrastamos por la experimentación y, en último término, con su auxilio, que nos permite utilizar la Matemática como herramienta de trabajo, de qué modo prevemos, calculamos y proyectamos. Después, tratando de llegar

rápidamente al fin útil, los procedimientos para proyectar, calcular y prever, toman preponderancia en las asignaturas de aplicación, y cabe abrigar el temor de que no se traten con atención bastante los fundamentos científicos, base sobre la que han podido establecerse esos procedimientos, corriéndose el riesgo de crear aptitudes profesionales algún tanto rutinarias.

Pensando de este modo, y si el pedir en este sitio y en esta ocasión algo que podía redundar en pro del progreso científico de nuestra Patria me fuera permitido, yo solicitaría que en el último año de nuestras carreras, cuando la atención y el esfuerzo de nuestros futuros compañeros ha ido derivando de más en más hacia los problemas cuya frecuente resolución ha de exigirles su práctica profesional, se estimule en ellos la afición á los estudios de las teorías físicas y físico-químicas, creando un curso *complementario* de estas materias, que en cada Escuela tendrían una especialización racional y fácil de definir.

PUERTO DE VALENCIA⁽¹⁾

Proceso que debe seguirse en la construcción.

INDICACIONES GENERALES ACERCA DEL PRESUPUESTO DE LAS OBRAS.

Importe total del presupuesto.—Roseñado sucintamente en los capítulos anteriores el anteproyecto general de las obras de ensanche, defensa y mejora del Puerto de Valencia, se han llegado á determinar los presupuestos parciales de las mismas, cuya suma arroja el siguiente resultado:

OBRAS	Por administración.	Por contrata.
	— Pesetas.	— Pesetas.
Diques exteriores.....	11.024.242	12.494.141
Habilitación y revestimiento de las dársenas.	12.603.626	14.264.110
Distribución y servicio.....	7.958.626	9.019.776
Complementarias.....	6.963.493	7.891.958
TOTAL.....	38.549.987	43.680.985

Necesidad de tomar como base el presupuesto de contrata.—Notable es la diferencia entre el coste de los trabajos hechos directamente por la Administración y contratados á Empresas industriales, pues asciende á 5.133.998 pesetas. Parece á primera vista que siendo más económico el primer procedimiento, debía imperar á todo trance; y sin embargo, ni es el que legalmente puede seguirse, ni cabe tomarle como base para conocer los gastos necesarios y el sacrificio que en definitiva ha de suponer la construcción. Porque si bien la Superioridad, basando sus dis-

(1) De la Memoria titulada «Plan de obras de ensanche, defensa y mejora de servicios», redactada por el Ingeniero Director de las obras del puerto.