

pensación de sus errores por el método de los mínimos cuadrados.

CURSO DE FÍSICA MATEMÁTICA

Introducción.

Caracteres diferentes de los métodos experimentales y de los métodos matemáticos.—Observación.—Experimentación.—Leyes físicas.—Teorías matemáticas.—Sistemas.—Objeto de la Física Matemática.

Instrumentos de medida.—Unidades.—Sistemas de Unidades.—Dimensiones de las unidades.—Medidas de longitud.—Patrones de longitud.—Instrumentos para las medidas de las longitudes.—Medida de ángulos.—Instrumentos para la medida de los ángulos.—Medidas de las masas y de las fuerzas. Medida del tiempo.—Aparatos para la medida de las fuerzas y de los tiempos.

Física molecular.

Fenómenos capilares.—Figura de los líquidos sustraídos á la acción de la pesantez.—Trabajo de las fuerzas moleculares.—Fórmula de Laplace.—Experiencias y aplicaciones diversas.—Figura de equilibrio de los líquidos pesados.—Ángulo de un líquido y un sólido.—Fórmula de un líquido pesado al contacto de una pared plana.—Medida del ángulo de un líquido y un sólido.—Tubos capilares.—Experiencias de Gay-Lussac, de Edmundo de Sains, de Quet y de Seguin.—Influencia de la temperatura.—Cálculos de Quet.—Teoría de Gauss.

Difusión.—Difusión libre.—Medida de los coeficientes de difusibilidad.—Endósmosis.—Equivalentes

osmométricos.—Diálisis.—Difusión de los gases.—Escurrimiento de los líquidos.—Regla de Torricelli.—Contracción de la vena.—Escurrecimientos por tubos capilares.—Frotamiento interior de los líquidos.—Leyes de las presiones y de las velocidades.—Medida del frotamiento Escurrimiento de los gases.—Leyes y teoremas relativos.—Escurrecimiento de los gases al través de los cuerpos porosos.—Compresibilidad.—Experiencias de Colladon, Sturm, Regnault, Jamin y Descamps.—Elasticidad.—Sus leyes.—Tracción.—Sus leyes.—Equilibrio del paralelepípedo elástico del tetraedro y de un cuerpo elástico de una forma cualquiera.—Flexión.—Sus leyes.—Torsión.—Sus leyes.—Límite de la elasticidad.—Tenacidad, dureza, ductilidad, maleabilidad.

Calor.

Hechos generales y definiciones.—Efectos generales producidos por el calor.—Dilatación.—Cambios de estado.—Efectos mecánicos.—Temperatura.—Coeficientes de dilatación.—Dilatación absoluta y aparente.—Termómetros de mercurio.—Dilatómetros.—Dilatación absoluta de los líquidos.—Dilatación absoluta del mercurio.—Máximo de densidad del agua.—Dilatación de los sólidos.—Métodos del termómetro de peso, de Laplace y de Lavoisier y método diferencial.—Aparato de Ramsden.—Dilatación de los gases.—Experiencias y leyes de Gay-Lussac.—Crítica de estas experiencias.—Experiencias de Regnault.—Determinación de α , α_1 y α_2 .—Dilatación

de diferentes gases.—Influencia de la presión.—Conclusiones.

Termometría.—Elección de una sustancia termométrica.—Termómetros.—Altas temperaturas.—Comparación de los termómetros de gas y de mercurio.—Termómetros de precisión.—Ley de Mariotte.—Experiencias de Despretz, Pouillet, Dulong, Arago y Regnault.—Compresibilidad bajo débiles y fuertes presiones.—Estudio de la compresibilidad á las temperaturas elevadas.—Fórmulas de M. van der Waals.

Calorimetría.—Calor específico de los sólidos y de los líquidos.—Método de las mezclas; de Dulong y Petit; aparato de Regnault.—Calor específico del agua. Leyes de Dulong y Petit, Neuman, de Woestyn.—Calor específico de los gases.—Experiencias de Laroche y Bérard y de Regnault.—Aplicaciones de la ley de Dulong y Petit á los gases.

Termodinámica.

Preliminares.—Elección de variables.—Transformaciones isoterma y adiabáticas.—Relaciones entre los coeficientes c y C , l y h .—Teorema de Resch.—Aplicación.—Medida de $\frac{c}{c}$; experiencia de Clement y Desormes.—Estudio térmico de los gases perfectos.—Representación gráfica de Clapyron.—Ecuaciones de las líneas isotérmicas y adiabáticas.—Expansión adiabática de un gas.—Ciclos.—Representación geométrica del trabajo.

Principio de la equivalencia.—Hechos experimentales.—Experiencias de Joule y de Hirn.—Cálculo del equivalente por medio de los gases perfectos.—Transformación

inversa del calor en trabajo.—Extensión del principio de la equivalencia á los ciclos abiertos.—Expresión analítica del principio de la equivalencia.—Energía interior.—Experiencias de Edlund.—Unidad del calor: termia.

Principio de Carnot.—Condiciones de un funcionamiento de un motor térmico.—Rendimiento máximo.—Ciclo de Carnot.—Expresión del rendimiento máximo.—Razonamiento de Clausius.—Nueva definición de temperatura.—Temperatura absoluta.—Expresión analítica del principio de Carnot.—Entropía.—Aplicaciones.—Cálculo del calor de dilatación l ; ecuación de Clapyron.—Estudio del coeficiente h .—Modificaciones experimentales.—Experiencias de Joule.—Termodinámica y teoría mecánica del calor.—Estudio de los gases reales.—Expresión completa de J . en el caso de los gases reales.—Principio de la conservación de la energía.

Cambios de estado.

Generalidades.—Sustancias refractarias.—Gases permanentes.—Fusión, sufusión, solidificación, disolución, cristalización.—Calor de fusión.—Caso general.—Método de Person.—Métodos calorimétricos basados sobre la fusión del hielo.—Calor de disolución y mezclas refrigerantes.—Formación de los vapores.—Ley de Dalton.—Formación de los vapores en la masa de líquidos.—Ebullición.—Calefacción.—Fuerzas elásticas de los vapores.—Experiencias de Dulong, de Arago y de Regnault.—Fórmulas.—Higrometría.—Densidad de los gases y de los va-

pores y peso del litro de aire. Métodos de Gay-Lussac, Hoffmann, Dumas y Meier.—Variación de la densidad con la temperatura y la presión.—Liquefacción de los gases.—Calores de vaporización.—Propagación del calor.—Irradiación y sus leyes.—Leyes del enfriamiento.—Conductibilidad térmica.—Resumen de la teoría de Fourier.—Regímenes variable y constante.—Problema del muro.—Caso de un muro indefinido.—Problemas de la barra.—Ley de Biot y de Lambert.—Caso del muro en el régimen variable.—Consecuencias de la ecuación de Fourier; 1^o ley del cuadrado de las longitudes; 2^o ley de los coeficientes de conductibilidad.—Estudio experimental de la conductibilidad térmica.—Experiencias fundadas sobre el régimen permanente.—Medida de las conductibilidades relativas.—Método del muro.—Variación del coeficiente f con la temperatura.—Conductibilidad de los metales, de los cristales y de los líquidos.

Electricidad.

Primera parte.—Electricidad estática.—Experiencias fundamentales.—Fenómenos eléctricos.—Conductores.—Aisladores.—Dos especies de electricidad.—Hipótesis de los dos fluidos.—Influencia.—Leyes de Coulomb.—Unidad de cantidad de electricidad.—Balanza de Coulomb.—Correcciones.—Ley de las atracciones: 1^o método de la balanza; 2^o métodos de las oscilaciones. Distribución. Pérdida. Estudio Experimental.—La electricidad está en la superficie de los cuerpos conducto-

res.—Densidad ó espesor eléctricos.—Densidad cúbica.—Distribución y conservación de la electricidad.—Estudio experimental de la distribución.—Plano de prueba.—Pérdida de la electricidad.—Definiciones. Teorema de Gauss. Definiciones; campo eléctrico; líneas de fuerza; superficies de nivel; tubo de fuerza; flujo de fuerza.—Potencias.—Definición de potencias; cálculo de la intensidad del campo por medio del potencial.—Propiedades de la derivada primera del potencial; forma del potencial en algunos casos particulares.—Propiedades de la derivada segunda; caso del punto exterior; ecuación Poisson.—Superficies equipotenciales ó de nivel; fuerza electromotriz.—Aplicaciones de los teoremas generales.—Distribución. Influencia.—La electricidad en la superficie de los conductores.—Teorema de Coulomb.—Elementos correspondientes.—Presión electrostática.—Poder de las puntas.—Teorema de Faraday; verificación experimental del teorema.—Pantallas eléctricas.—Capacidad.—Condensadores.—Capacidad de una esfera.—Distribución de los cargos.—Unidad de capacidad.—Condensadores esféricos, planos, cilíndricos y de forma cualquiera.—Reparto de los cargos entre varios condensadores.—Energía eléctrica de un sistema de condensadores y de un condensador.—Asociación en superficie y en cascada.

Dieléctricos.—Propiedades de los cuerpos aisladores.—Poder inductor específico.—Diferencia entre una lámina conductora y una dieléctrica.—Carga residual.—Polarización de los dieléctricos.—Relación

entre la polarización y el poder inductor específico.—Modificaciones pasajeras que sufren los dieléctricos.—Medidas electro-estáticas.—Electrómetros.—Electroscopio.—Medidas de las cantidades y de los potenciales con la balanza de Coulomb.—Electrómetros absolutos del Sr. William Thomson y de M. G. Lippmann.—Electrómetros de cuadrante de Thomson, de Hankel y Bohrenberger.—Medidas de las capacidades; patrones.—Medidas de los poderes inductores específicos; experiencias de M. Megreano.—Máquinas eléctricas.—Máquinas de rozamiento: de Ramsden y diversas.—Máquinas de influencia: electróforo; replenisher de W. Thomson; máquinas de Holtz y diversas.—Rendimiento.—Botella de Leyden.—Efectos de la descarga.—Experiencias de Riess.—Relación entre la longitud de la chispa y la diferencial de potencial.

SEGUNDA PARTE.

Electricidad dinámica.

Corrientes eléctricas.—Leyes de los contactos.—Experiencias de Galvani, de Volta y explicación de Sabroni.—Ley del contacto ó de Volta.—Producción de una corriente.—Pila de Volta.—Pila seca.—Debilitamiento de la pila.—Corrientes eléctricas: Leyes de las corrientes. Ley de Ohm.—Conductor lineal homogéneo y heterogéneo.—Densidad de la corriente.—Circuito cerrando un elemento de pila.

Pila de N. elementos.—Agrupamiento y efectos máximo de una pila.—Corrientes derivadas.—Leyes de Kirchhoff.—Lema de Kirchhoff.

—Cálculo de la intensidad en una derivación.—Corolarios de M. Boescha.—Analogías del potencial.—Analogías térmicas é hidráulicas.—Presión y fuerza electromotriz.—Termoelectricidad.—Calor desprendido ó transportado por las corrientes.—Ley de Joule.—Elevación de la temperatura del circuito.—Tensión del hilo.—Efecto Pellier.—Fuerza electromotriz de contacto.—Verificación experimental de M. Le Roux.—Corrientes producidas por el calor.—Experiencias de Seebeck.—Series termoelectricas.—Leyes de Becquerel.—Influencia de la temperatura.—Punto de inversión.—Experiencias de Gaugain.—Poder termoelectrico.—Punto neutro.—Diagramas.—Termoelectricos de Tait.—Teoría de los fenómenos termoelectricos.—Pilas termoelectricas de Noe y diversas.—Medidas de las temperaturas.—Electrolisis.—Ley general de la electrolisis; electrolisis del agua acidulada.—Acciones secundarias.—Leyes de Faraday. Ohm y Joule.—Transporte de los iones.—Fenómenos mecánicos.—Polarización.—Polarización de los electrodos Trabajo gastado en la electrolisis; trabajo químico en el interior de las pilas.—Pilas reversibles.—Estudio de la polarización.—Experiencias de M. Bonty.—Capacidad de polarización.—Teoría de Helmholtz.—Fenómenos electrocapilares.—Trabajos de M. Lippmann.—Interpretación de estos fenómenos.—Electrómetro capilar.—Retardo de la electrolisis.—Pilas y acumuladores.—Condiciones que debe llenar una pila perfecta.—Zinc amalgamado.—Pilas constantes. Tipo de Daniell;

cálculo de su fuerza electromotriz; disposición práctica; modificaciones del elemento Daniell.—Pilas diversas.—Costo y rendimiento de las pilas hidroeléctricas.—Acumuladores.—Pila de gas.—Pila Planté.—Acumuladores del género Faure.—Rendimiento.—Capacidad.—Experiencias de M. M. Monnier y Guitton.—Observaciones prácticas.—Agrupamiento de los acumuladores.

Magnetismo.

Imanes. Campo magnético.—Imanes naturales. Polos.—Experiencias y leyes de Coulomb.—Masa y campo magnético.—Momentos.—Potencial producida por un imán elemental.—Constitución de los imanes.—Hipótesis de Coulomb y de Ampère.—Intensidad de imantación.—Solenoides y hojas magnéticas.—Cuerpos magnéticos y diamagnéticos.—Influencia magnética.—Coeficientes de imantación.—Resistencia magnética.—Construcción de las barras imantadas.

Magnetismo terrestre.—Diversos métodos de la medida del magnetismo terrestre.

Instrumentos de un observatorio magnético.—Brújulas de declinación y de inclinación; declinómetro registrador.—Magnetómetros. Magnetómetro bifilar.—Brújula de inclinación absoluta.—Usos de la brújula de viaje.—Medida de I y de H.—Resultado de las observaciones: 1º de declinación; 2º inclinación; 3º intensidad.—Hojas magnéticas.—Potencial y energía de una hoja magnética.—Acción de un campo magnético sobre una hoja.—Cálculo de los componentes de la fuerza.—Cál-

culo de la acción recíproca de dos hojas.—Expresión de la energía.—Fórmula de Neuman.

Electromagnetismo.

Experiencias de Oerstedt.—Regla de Ampère.—Acción de una corriente sobre un polo magnético.—Experiencias de Biot y Savart.—Potencial electromagnético.—Equivalencia de una corriente cerrada y de una hoja magnética.—Acciones electrodinámicas.—Electrodinámica: 1º energías relativas de dos corrientes; 2º energía intrínseca de una corriente cerrada; 3º acción de dos elementos de corrientes d. s. y d. s!—Verificaciones experimentales.—Tabla de Ampère.—Leyes elementales.—Rotación de las corrientes por las corrientes.—Acción de la tierra sobre las corrientes.—Solenoides electromagnético; caso particular.—Acciones electromagnéticas.—Fórmula de Laplace.—Acción de una corriente circular cerrada sobre un polo colocado en un punto de su eje.—Rotación de los imanes por las corrientes.—Experiencias de Faraday.—Rotación de las corrientes por los imanes; rueda de Barlon.—Electro-imites.—Teoría del magnetismo de Ampère.—Fenómeno de Hall. Inducción.—Corrientes de inducción.—Experiencias de Faraday.—Leyes experimentales de las corrientes inducidas.—Teoría de los fenómenos de inducción.—Coeficientes de inducción; inducción electrodinámica.—Corriente durante el régimen variable: 1º extra-corriente de clausura; 2º extra-corriente de ruptura; corriente debida á la descarga de un

conductor.—Ley general de inducción en los circuitos sin resistencia.—Casos particulares: 1º corriente continua; 2º corrientes alternativas; 3º corrientes de inducción instantáneas; 4º medidas de un campo magnético cualquiera.—Inducción en toda la masa de un conductor cualquiera.—Corrientes inducidas de orden superior.—Aplicaciones de la inducción.—Máquinas de inducción.—Máquina de Gramé.—Característica. Líneas isodinámicas.—Transporte eléctrico de la energía.—Transformadores.—Carrete de Ruchmkorff; Carretes tabicados; condensador de Fixeau.

Unidades.—Unidades eléctricas.—Dimensiones de las unidades eléctricas en el sistema electromagnético.—Unidades prácticas.—Determinación de Ohm.—Método de la Asociación Británica. Método de Weber.—Discusión de los métodos precedentes; método de Lorenz.—Método de Lippmann.—Experiencias del Dr. Wuilleumier.—Unidad de tiempo absoluto de Lippmann.—Determinación del número v.: 1º Método de Weber y Rohrausch; 2º Método de W. Thomson; método de Stoleton.—Principio de la conservación de la electricidad.—Medidas A.—Intensidades.—Galvanómetros.—Brújula de las tangentes.—Brújula de los senos.—Galvanómetros ordinarios.—Angulo de sensibilidad máxima.—Construcción de los galvanómetros de gran sensibilidad.—Diminución del efecto de H; sistemas estáticos; imanes compensadores.—Schunt. Poder multiplicador.—Resistencias de compensación.—Galvanómetros

diversos.—Constante y fórmula del mérito de un galvanómetro.—Medida de las corrientes instantáneas.—Galvanómetro balístico.—Electrodinamómetros.—Electrodinamómetro absoluto de Pellat, Ampère, patrón.—Medida de las corrientes por la electrolisis.—Voltímetros.—Medida absoluta de las intensidades.—Experiencias de Pouillet.—Medidas B.—Resistencias.—Patrones y aparatos.—Patrones de resistencia Ohms.—Reóstatos.—Caja de resistencias.—Medida de las resistencias de los conductores metálicos y de las pilas.—Métodos diversos.—Cajas dispuestas en puente.—Llave de dos contados sucesivos.—Resistencia de un galvanómetro.—Puente de cuerda.—Medida de las resistencias muy débiles.—Método de Kirchhoff.—Medida de las resistencias muy grandes.—Método de Shunt.—Resistencia de la pila; método de Whertstone; método de Máuce.—Empleo del electrómetro.—Medidas de las resistencias líquidas.—Electrodos sin polarización.—Método de Lippmann.—Disposición de Bouty.—Ley de las conductibilidades moleculares.—Aplicaciones de la medida de las resistencias líquidas.—Resultados.—Medidas C. Fuerzas electromotrices.—Unidad de fuerza electromotriz; Volt.—Pilas patrones.—Métodos galvanométricos.—Método de oposición.—Método de Wheatstone.—Método de Poggendorff ó de compensación; modificación del de Bois.—Reymon.—Métodos electrométricos.—Electrómetro aperiódico de G. y C. Curie.—Pila de carga.—Graduación

del instrumento.—Verificación de las leyes de Volta y de Ohm.—Electricidad atmosférica.—Fuerza electromotriz de contacto.—Experiencias de Pellat.—Medida de las fuerzas electromotrices de contacto verdaderas; caso de un metal y de un líquido; caso de dos líquidos.—Medidas de las capacidades.—Método del puente.—Método del galvanómetro balístico.

Medidas industriales.—Voltímetros.—Amperómetros.—Aparatos de Despretz y Carpentier; reductores.—Instrumentos de W. Thomson; amperómetros: voltímetro.—Amperómetro de Lippmann. Experiencias, los voltímetros y amperómetros.—Electro dinamómetro de Siemens y Halske.—Voltímetro de Carden.

Acústica.

Estudio analítico de un movimiento vibratorio.—Ecuaciones del movimiento vibratorio. 1º vibraciones longitudinales; 2º vibraciones transversales.—Composición de las vibraciones paralelas, interferencias.—Composición de las vibraciones rectangulares: 1º vibraciones de igual período; 2º vibraciones de períodos desiguales.—Producción y propagación del sonido.—Naturaleza del sonido.—Propagación del sonido en el aire; fórmula de Newton.—Fórmula de Laplace; medida indirecta de $\frac{c}{v}$. Medida experimental de la velocidad del sonido en el aire.—Medida de la velocidad del sonido en los líquidos y los sólidos.—Reflexión, refracción é interferencias del sonido.—Altura.—Timbre.

OPTICA

Primera parte.—Optica geométrica.

Reflexión.—Leyes de la reflexión.—Espejos planos.—Espejos esféricos.—Refracción.—Leyes de la refracción.—Índices de refracción.—Reflexión total.—Refracción al través de láminas de caras paralelas.—Refracción al través de un prisma, fórmulas del prisma; minimum de desviación; construcción del rayo convergente, condiciones de emergencia; foco del prisma.—Lentes.—Lentes esféricas.—Refracción al través de dos superficies esféricas; lentes gruesos. Centro óptico; puntos nodales.—Cálculo de los constantes de una lente.—Caso en que los medios extremos son los mismos.—Lentes infinitamente delgados.—Refracción al través de más de dos superficies esféricas; sistema de lentes.—Estudio experimental de las lentes esféricas; aberración de esfericidad.—Disposición.—Espectro; producción de un espectro puro; rayas del espectro; espectro infra-rojo; espectro ultra-violeta.—Espectroscopio.—Espectroscopio de visión directa.—Espectros de emisión; análisis espectral.—Espectro de absorción.—Inversión de las rayas; origen de las rayas del espectro solar.—Acromatismo.

Instrumentos de óptica.—Lentes.—Microscopio simple; aumento; poder.—Oculares; anteojos; aumento; diafragma; campo; retícula; anillo ocular; estudio experimental de los telescopios; nitidez y poder óptico de los anteojos; telescopios.

Segunda parte.—Optica física.

Interferencia.—Espejos de Fresnel.—Leyes del fenómeno.—Medida de l y cálculo de T .—Disposición experimental.—Franjas en la luz blanca; espectros acanalados.—Necesidad de emplear haces que provengan de un solo foco.—Otras experiencias: 1º semi-entes de Villet; 2º biprisma de Fresnel; 3º lámina de Bourbouze.—Anillos de Newton.—Experiencias de Fizeau; medidas de las dilataciones.—Reflexión y refracción. Teoría de Fresnel.—Difracción.—Principios de Huygens.—Doble refracción.—Cristales birrefringentes de uno y de dos ejes.—Experiencias de Huygens y construcciones que de ellas se deducen.

Electro-óptica.

Polarización rotativa magnética.—Experiencias de Faraday.—Consideraciones teóricas.—Dispersión rotativa magnética.—Teorías de Maxwell; torbellinos moleculares.—Corriente eléctrica.—Leyes de Ampère.—La relación de la unidad electrostática á la unidad electromagnética de electricidad, es igual á la velocidad de la luz.—El poder inductor específico es igual al cuadrado del índice de refracción.—Los cuerpos conductores son opacos.—Rotación magnética del plano de polarización.—Verificaciones experimentales.—Descargas oscilatorias.—Experiencias del Dr. Herzt.—Experiencias del Profesor O. Lodge.—Fenómenos actinoeléctricos.—Fotometría.—Intensidad luminosa total.—Unidad de luz.—Fotómetros.—Espectrofotómetros.

Aplicaciones de la electricidad.

Dinamos.—Ideas generales.—Dinamos de corrientes continuas, su clasificación con respecto al inducido y enrollamientos diversos, circuito magnético de los dinamos, diferentes modos de excitación, teoría de los dinamos de corriente continua, su ensaye, su construcción, descripción de algunos de los tipos principales, formación de un proyecto de dinamo y modificación de una máquina de tipo dado.

Dinamos de corriente alternativa, clasificación de los alternadores según la forma del inducido, clasificación de los mismos según el órgano móvil, modos de excitación, cálculo de su fuerza electromotriz, ensaye de los mismos, su agrupación, sincronización.—Condiciones generales de los alternadores de corrientes polifásicas.—Descripción de los principales tipos de alternadores, formación de proyectos de alternadores.

Transformadores de corrientes alternativas.—Descripción de diversos tipos, su teoría, su ensaye y formación de proyectos.

Distribución de la energía.—Ideas generales.—Conductores, aparatos de seguridad empleados en las canalizaciones.—Distribución directa de la energía en su forma eléctrica, canalización en serie, canalización en derivación, diversos modos de hacerla.—Distribución indirecta, por medio de acumuladores y por medio de transformadores.—Contadores eléctricos.—Líneas aéreas.—Postes aisladores, formación de proyectos y construcción de las líneas.