

01085
13
20



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Filosofía y Letras

**HISTORIA DE LA FÍSICA EN MÉXICO EN EL
SIGLO XIX: LOS CASOS DEL COLEGIO DE
MINERÍA Y LA ESCUELA NACIONAL DE**



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
DOCTOR EN HISTORIA
P R E S E N T A:
MARÍA DE LA PAZ RAMOS LARA



FACULTAD DE FILOSOFÍA
Y LETRAS - UNAM

MEXICO

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

M. en C. María de la Paz Ramos Lara

Resumen en español de la tesis de doctorado en Historia

HISTORIA DE LA FÍSICA EN MÉXICO EN EL SIGLO XIX: LOS CASOS DEL COLEGIO DE MINERÍA Y LA ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

El desarrollo de la física en México durante el siglo XIX en el Colegio de Minería y la Escuela Nacional de Ingenieros se vio razagado respecto a los países industrializados debido a que México se incorporó en la esfera internacional con un régimen capitalista dependiente que le impidió desarrollar una industria propia, manteniendo con ello una dependencia tecnológica. A su vez, la inversión extranjera provocó que los puestos más importantes en el ámbito industrial fueran ocupados por profesionistas extranjeros, desplazando así a los mexicanos, a quienes no les quedó más alternativa que la docencia o los puestos burocráticos. Por otra parte las profesiones vinculadas con la industria que se ofrecían en la Escuela de Ingenieros, como el ingeniero electricista, el ingeniero mecánico y el ingeniero industrial, sufrieron de una alarmante escasez de estudiantes, atribuida por las autoridades a una exagerada enseñanza teórica de las cátedras de física, lo cual mereció un replanteamiento de éstas para enfocarlas más hacia la práctica, y para que el ingeniero adquiriera una formación eminentemente de carácter práctico. Las materias de física eran consideradas la piedra angular en la formación de estos ingenieros, de donde resulta que si éstos se enfrentaron a una serie de obstáculos (algunos provenientes del extranjero) que les impidió desarrollarse, la física sufrió las mismas consecuencias. No obstante esto no sucedió con disciplinas como la biología, la medicina y la geología, las cuales tuvieron un desarrollo tanto teórico como práctico que les llevó a participar en el ámbito internacional e incluso a crear instituciones subsidiadas por el gobierno para su fomento.

M. en C. María de la Paz Ramos Lara

Resumen en español de la tesis de doctorado en Historia

HISTORIA DE LA FÍSICA EN MÉXICO EN EL SIGLO XIX: LOS CASOS DEL COLEGIO DE MINERÍA Y LA ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

El desarrollo de la física en México durante el siglo XIX en el Colegio de Minería y la Escuela Nacional de Ingenieros se vio razagado respecto a los países industrializados debido a que México se incorporó en la esfera internacional con un régimen capitalista dependiente que le impidió desarrollar una industria propia, manteniendo con ello una dependencia tecnológica. A su vez, la inversión extranjera provocó que los puestos más importantes en el ámbito industrial fueran ocupados por profesionistas extranjeros, desplazando así a los mexicanos, a quienes no les quedó más alternativa que la docencia o los puestos burocráticos. Por otra parte las profesiones vinculadas con la industria que se ofrecían en la Escuela de Ingenieros, como el ingeniero electricista, el ingeniero mecánico y el ingeniero industrial, sufrieron de una alarmante escasez de estudiantes, atribuida por las autoridades a una exagerada enseñanza teórica de las cátedras de física, lo cual mereció un replanteamiento de éstas para enfocarla más hacia la práctica, y para que el ingeniero adquiriera una formación eminentemente de carácter práctico. Las materias de física eran consideradas la piedra angular en la formación de estos ingenieros, de donde resulta que si éstos se enfrentaron a una serie de obstáculos (algunos provenientes del extranjero) que les impidió desarrollarse, la física sufrió las mismas consecuencias. No obstante esto no sucedió con disciplinas como la biología, la medicina y la geología, las cuales tuvieron un desarrollo tanto teórico como práctico que les llevó a participar en el ámbito internacional e incluso a crear instituciones subsidiadas por el gobierno para su fomento.

M. en C. María de la Paz Ramos Lara

Resumen en inglés de la tesis de doctorado en Historia

**THE PHYSICS IN MEXICO IN THE XIX CENTURY: THE MINING COLLEGE
AND THE NATIONAL SCHOOL OF ENGINEERING CASES**

The development of physics in Mexico in the XIX century in the Mining College and the National School of Engineering has lagged behind that of the industrialized countries due to Mexico incorporated itself within the international sphere as a dependent capitalist regimen; situation which prevented the development of its own industry and made it technologically dependent. In turn, foreign investment has meant that the most important positions in industry were occupied by foreign professionals replacing Mexicans who didn't have any choice other than teaching or bureaucratic positions. On the other hand, professions related to industry which were offered by the National School of Engineering, such as electrical engineering, mechanical engineering and industrial engineering, suffered an important decrease in their student population which, according to the authorities, was due to an exaggerated theoretical focus in the physics related subjects. This produced a reorganization of these subjects moving them to a practical focus impulsing engineers to acquire a more practical applied formation. Since the physics subjects were regarded as a cornerstone in the formation of these engineers, and a series of problems (some of them from abroad) were encountered which impeded development, physics suffered the same consequences. Nevertheless this situation is not found in other disciplines such as biology, medicine or geology, which already had theoretical and practical aspects which allowed them to participate in the international environment, and even to create new institutions which were subsidized by the government to promote their development.

*A mi hija Adriana Ivonne,
porque gran parte del tiempo
aquí invertido debió haber sido para ti*

*Para Adrián, porque
gracias a tu apoyo pude
acelerar la producción de este trabajo*

*A mis padres Ana María y José Guadalupe
por su confianza y apoyo. A todos mis hermanos*

*A todos aquellos que
me han facilitado el camino con sus
contribuciones en la historia de la ciencia*

ÍNDICE

Agradecimientos	
Introducción	2
I.- Panorama general de la trayectoria del Colegio de Minería y la Escuela Nacional de Ingenieros durante el siglo XIX	12
1.1. Origen del Colegio de Minería	12
1.2. El Colegio de Minería durante el movimiento de independencia	18
1.3. El Colegio de Minería durante la instauración de la República	25
1.4. La Escuela Especial de Ingenieros	31
1.5. La Escuela Nacional de Ingenieros	34
II.- Los Ingenieros egresados del Colegio ante la formación de una Nación	38
2.1. La función social de los ingenieros	38
2.2. La participación de los ingenieros en la creación de comisiones, expediciones e instituciones científicas	55
2.3. Los ingenieros y su relación con el Estado	58
III.- Establecimiento de nuevos cursos y profesiones	65
IV.- La física en la formación de los ingenieros	87
4.1. Trayectoria y descripción del contenido de las cátedras de física	87
4.1.1. Física experimental	90
4.1.2. Mecánica aplicada a la minería, mecánica racional y aplicada, o mecánica analítica y aplicada	95
4.1.3. La cátedra de mecánica industrial	102
4.1.4. La cátedra de estática gráfica	104
4.1.5. La cátedra de física matemática	105
4.1.6. La cátedra de telegrafía que posteriormente se cambió a electricidad	107
4.1.7. La práctica de mecánica	109
4.1.8. Libros de texto	116
4.1.9. Compra de instrumentos	124

4.2. Impacto de la enseñanza de la física en la Escuela de Ingenieros	126
4.2.1. Más cursos prácticos y menos teóricos	126
4.2.2. Carreras que contenían cátedras de física	131
4.2.3. Población estudiantil de cada una de las profesiones	134
4.2.4. Reflexión sobre la educación del Ingeniero en el siglo XIX: eliminar, fusionar y crear nuevas carreras	135
V. La física aplicada en la Escuela de Ingenieros y su relación con la industria	139
5.1. En busca de una posible interpretación	139
5.1.1. La ciencia y el régimen capitalista	139
5.1.2. La física y las profesiones bajo el régimen capitalista dependiente mexicano del siglo XIX	143
5.2. Contradicciones generadas por una concepción ambigua de progreso	156
Conclusiones	164
Bibliografía	176
Apéndice A. "Planes de estudios de las carreras"	183
Apéndice B. "Materias impartidas y nombres de los profesores"	197
Apéndice C. "Plan de Estudio de las carreras de Ingeniero Electricista y de Maquinista"	207
Apéndice D. "Programas de las cátedras de física"	212
Apéndice E. "Estudio estadístico de alumnos titulados de 1859 a 1899"	252

Agradecimientos

Al Dr. Juan José Saldaña no sólo por haber dirigido este trabajo de tesis sino también por el apoyo que académicamente me ha brindado. Debo mencionar que fue fundamental para el buen desarrollo de esta investigación tanto su orientación particular alrededor de este trabajo como en mi formación general como historiadora de la ciencia, al participar en el curso de seminario de investigación y tesis de historia de la ciencia y de la tecnología en México que él imparte en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Filosofía y Letras, donde además recibí de mis compañeros tanto valiosas opiniones y críticas como muestras de amistad y estímulo moral para terminar este trabajo.

Mi más sincero agradecimiento a los doctores Juan José Saldaña, Juan Manuel Lozano, Luis de la Peña, Alberto Saladino y Leticia Mayer por sus comentarios y sugerencias que indudablemente contribuyeron en la perfección de este trabajo. En especial al Dr. Lozano por todo el tiempo que me dedicó (y que seguramente me contabilizó), por su interés y su minuciosa revisión. De igual manera mi gratitud a los doctores Carlos López Beltrán y Omar Moncada por haber aceptado participar como sinodales.

Un especial reconocimiento al sociólogo Eleazar Ramos por las exhaustivas revisiones que realizó a este trabajo y que lo mejoraron considerablemente.

Deseo agradecer al director de la Facultad de Ciencias Rafael Pérez Pascual y a los miembros de la División de Estudios de Posgrado y del Departamento de Física de la misma Facultad, el haberme apoyado para realizar esta investigación como tesis doctoral en la Facultad de Filosofía y Letras. Asimismo agradezco a la directora de dicha Facultad Juliana González y a los miembros de la División de Estudios de Posgrado del Departamento de Historia por haber aceptado este trabajo de investigación dentro del programa tutorial de doctorado.

Al Programa de Apoyo a las Divisiones de Estudios de Posgrado (PADEP) y al Sistema Nacional de Investigadores por la ayuda económica que me brindaron para desarrollar y finalizar esta investigación.

Introducción

Este trabajo de investigación se concibió con la idea de dar continuidad a un estudio que se inició hace algunos años sobre el proceso de institucionalización de la física en México en el siglo XVIII, el cual además de presentarse como Tesis de Maestría en la Facultad de Ciencias de esta Universidad ganó en 1990 el primer premio *Dr. Enrique Beltrán*, convocado por la Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, haciéndose acreedor a su publicación como libro. En este trabajo se presenta un estudio sobre la historia de la física en el Colegio de Minería durante el siglo XIX. El espíritu con el cual se llevó a cabo es el mismo que el del proyecto que acabamos de mencionar: tratar de comprender la dinámica actual que vive la comunidad mexicana de física, caracterizada entre otros casos, por el poco interés que presentan los estudiantes por estudiar la carrera de física respecto a otras, la fuga de cerebros, las pocas perspectivas de trabajo para las nuevas generaciones y la participación de los científicos mexicanos en el ámbito internacional. Es indudable que para entender objetivamente esta situación es necesario contar con diversos estudios históricos que analicen su dinámica bajo una óptica, no sólo científica, sino también social, económica, política y cultural; que nos aclare bajo qué condiciones tuvo lugar la introducción, difusión, institucionalización y profesionalización de esta rama de la ciencia; como influyó su origen en el siglo XVIII y su desarrollo en el siglo XIX en la evolución que ha tomado hasta nuestros días. De aquí la importancia de realizar un estudio de esta dimensión, dado que, hasta este momento, hay pocos trabajos serios que se refieran a la historia de la física en México en el siglo XIX. Por otro lado, este trabajo permite apreciar una parte de la historia de nuestro país desde otra perspectiva, la de la historia de la ciencia.

Dado que sería muy extenso que en un trabajo como el presente se estudiara, de manera general, la historia de la física en México en el siglo XIX, se decidió restringir la investigación al ámbito educativo. Esto como consecuencia de que en México no se creó una infraestructura científica como la de algunos países europeos, donde se llegaron a crear

laboratorios de investigación, sociedades y publicaciones científicas en esta área. En cambio, en nuestro país, la actividad científica se limitó al terreno de su enseñanza.¹

Dentro del campo de la educación se estableció como limitación el estudio de la historia de la física en el Colegio de Minería, el cual se transformó en Escuela Nacional de Ingenieros a finales del siglo XIX. Se seleccionó dicho colegio por ser la primera institución educativa que en México ofreció estudios de carácter científico-técnico y que se convirtió, durante el siglo XIX, en una Escuela ejemplar que algunos Estados de la República decidieron imitar para crear sus propios centros de enseñanza superior relacionados con la Ingeniería. No se debe olvidar que mientras la Ingeniería en otros países, en este periodo, estuvo estrechamente relacionada con la producción científica, tanto teórica como práctica, en el caso de México sólo se confinó a la aplicación del conocimiento que se iba generando en Europa y Estados Unidos.

Aunque la presente investigación se restringe al estudio de la física en un colegio, el periodo de consulta de fuentes primarias se extendió a casi cuatro años. La gran cantidad de información que emergió de la acuciosa búsqueda parecía como un gran conjunto de datos aislados sin posibilidad de relacionarlos. En una primera aproximación se decidió organizarlos por temas generales como profesiones, cursos, catedráticos, gastos, iniciativas, comisiones, prácticas, libros, instrumentos, disposiciones gubernamentales, escuelas prácticas, número de alumnos inscritos en diversas materias, número de alumnos titulados, contenido de los cursos, viajes realizados, etcétera. Aún así, no se podía encontrar ni el hilo conductor que relacionara todos los rubros de manera coherente ni un método que permitiera organizar los datos de cada tema. El siguiente acercamiento tuvo lugar al tratar de ordenar todo alrededor de la información que se obtuvo sobre los cursos de física, como

¹ Aunque en 1863 se creó el Observatorio Astronómico Nacional, no se ha considerado su estudio dentro de esta investigación debido a que se concibió y fundó con el objetivo de organizar y dirigir operaciones geográficas. De hecho Moreno C., asegura que la fundación de dicha institución "se produjo por causas ajenas al desarrollo científico como tal, ya que aunque el decreto que le dio origen establecía la necesidad de crear un centro que correspondiera 'a las exigencias actuales de la ciencia', el sentir que inspiró su nacimiento fue el de contar con una dependencia de servicio que apoyara al gobierno central en otras labores". Ver Moreno C., M. A., "El Observatorio Astronómico Nacional y el desarrollo de la ciencia en México (1878-1910)", *Quipu*, Revista Latinoamericana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, vol. 5, núm. 1, pp. 59-67.

No obstante estamos seguros que es necesario dedicar una investigación enfocada a determinar el desarrollo histórico de esta institución, debido a las aportaciones que gracias a esta se llegaron a realizar en el campo de la astronomía.

nombre de los catedráticos, número de cátedras creadas, contenido de los cursos, libros de texto utilizados, número de alumnos aprobados y reprobados, estudiantes premiados y prácticas realizadas, entre otros elementos. La solución tuvo lugar cuando se empezó a estructurar la información de manera cronológica, en forma de cuadros temáticos y a través de análisis estadísticos, no sólo porque algunas de las relaciones que había entre ellos emergieron claramente, sino también porque se observaban coincidencias tanto con la situación social, política y económica de nuestro país como con las condiciones científicas y económicas de países como Francia, Alemania, Inglaterra y Estados Unidos.

Aunque se encontraron los elementos que daban coherencia a esta investigación, se consideró conveniente estructurar algunos de los capítulos de la tesis (I, III y parte del IV) en forma cronológica-descriptiva con la intención de incorporar información que si bien no se pudo integrar completamente a las relaciones establecidas, si pueden ser de gran utilidad para aquellos investigadores que les interesa la historia de la enseñanza superior, de las profesiones científico-técnicas, de la industria mexicana y de las disciplinas científicas como la astronomía, la geografía, la geología, las matemáticas y la química, entre otras. Otra razón por la cual se creyó adecuada dicha estructura radica en que la mayor parte de la bibliografía que se refiere a la historia social, política y económica de México no incorpora a la ciencia como parte de su campo de estudio; esto hizo difícil efectuar la interrelación entre la información localizada y la bibliografía consultada, excepto, como se dijo en el párrafo anterior, de aquellos datos que coincidieron con eventos nacionales cruciales que tuvieron lugar en nuestro país durante el siglo XIX, y con lo cual esperamos contribuir, aunque modestamente, a la historia de México.

Los objetivos de esta investigación consisten en determinar cómo las cátedras de física fueron evolucionando a lo largo del siglo XIX conforme el colegio se fue modificando como institución; precisar si tuvo lugar alguna contribución científica (en física) de relevancia; especificar bajo qué circunstancias se crearon o cancelaron los cursos de física; establecer su relación con distintas profesiones de carácter ingenieril y con su demanda social; y por último, tratar de encontrar una explicación general que nos permita entender cómo tuvo lugar el desarrollo de la física respecto a otras disciplinas científicas,

como la geología. De esta manera, se podrá determinar la repercusión que tuvo la física a nivel social, científico y económico para compararlo con el desarrollo de la física en algunos países centrales² en los cuales existió desde el siglo XIX una estrecha relación entre ciencia, tecnología, industria y educación que les permitió incrementar sus niveles de producción y ampliar su mercado comercial al mejorar e introducir nuevos medios de comunicación y transporte. Para llevar a cabo estos objetivos se tomarán en cuenta los siguientes hechos que tuvieron lugar en los países centrales:

- El capitalismo llegó a convertirse en el siglo XIX en el modo dominante de producción.³ A finales del siglo XIX la ciencia se convirtió en el factor dominante en este modo de producción, al grado de que la existencia de la industria dependió de ella.⁴ La alianza que tuvo lugar entre la ciencia, la tecnología y la industria propició que los progresos de la ciencia influyeran directamente en los progresos de la industria.⁵

- La educación (y las actividades que se derivan de ésta) se incorporó, a mediados del siglo XIX, como factor decisivo en el crecimiento industrial y la transformación tecnológica, donde esta última ha determinado hasta el día de hoy, los aumentos de productividad.⁶

- Nuevas profesiones de ingeniería surgieron de manera paralela al desarrollo de la industria. Tal fue el caso de la ingeniería mecánica y la ingeniería eléctrica, entre otras.

- Durante el siglo XIX se crearon asociaciones científicas, publicaciones especializadas, por primera vez grandes laboratorios tanto estatales como industriales y universitarios destinados a la investigación; la estrecha relación que surgió entre la ciencia y la industria condujo a una nueva manera de ejercerla con el surgimiento del investigador científico.⁷

² Los países "centrales" son los industriales o avanzados mientras que los "periféricos" son los subdesarrollados o atrasados. Ver Sunkel, O., Paz, P., *El subdesarrollo latinoamericano y la teoría del desarrollo*, Editorial siglo XXI, vigesimoquinta edición, 1993, p.6.

³ Bernal, J. D., *La ciencia en la historia*, Editorial Nueva Imagen, UNAM, 1986, p. 360.

⁴ Bernal, J. D., *Ciencia e industria en el siglo XIX*, Ediciones Martínez Roca, S. A., 1973, p. 138.

⁵ Desfilippe Beltraming, M. M., *Alianza entre ciencia, tecnología e industria*, Anules, México, 1977; Le Chatelier, H., *Ciencia e industria*, Espasa-Calpe, Argentina, S. A., Buenos Aires, 1947.

⁶ Baldwin, G. B., "Reflexiones sobre la educación, la tecnología industrial y el progreso económico", *La educación en el mundo de la industria*, Angel Estrada y Cia. S. A., Buenos Aires, 1971, pp. 65-86.

⁷ Bernal, J. D., 1973, *op. cit.*, p. 140.

El contenido de este trabajo se encuentra dividido en cinco capítulos. En el primero se hace un análisis cronológico de la evolución del Colegio de Minería a través del siglo XIX, para determinar cuál fue su relación con el Estado y cómo repercutió en su estructura como institución educativa.

En el segundo capítulo se muestra como los profesionistas egresados del colegio tuvieron una participación activa en la esfera política, desde los primeros movimientos de la Guerra de Independencia hasta la participación en importantes cargos gubernamentales. Este hecho les facilitó a algunos adquirir fondos para promover el desarrollo de la ciencia, aunque no en todas las disciplinas. La física, por ejemplo, no tuvo un desarrollo tan destacado como lo tuvo la geología al crearse el Instituto Geológico Nacional para su propio fomento y a petición del Ingeniero Antonio del Castillo, egresado del mismo colegio.

En el capítulo tercero se realiza un seguimiento cronológico de las profesiones y cursos conforme fueron apareciendo a lo largo del siglo XIX, con el objeto de determinar cuándo, por qué y para qué se crearon. Con el auxilio de cuadros y tablas se muestra como el número de cátedras y de carreras empezó a aumentar considerablemente a partir de la segunda mitad del siglo; en particular, el número de cátedras de física no sólo se incrementó, sino que se convirtió en una base fundamental para enseñar otras materias. Estos incrementos coinciden con el interés de mejorar la posición económica del país; en particular, expandir y perfeccionar los medios de transporte y de comunicación, aumentar la producción de minerales y de diversos productos manufacturados con la introducción de máquinas, e introducir la energía eléctrica como un nuevo tipo de energía que beneficiara no sólo al sector industrial sino también a la sociedad misma.

En el capítulo cuarto se retoma la información del capítulo anterior que se refiere a las cátedras de física y se amplía con el propósito de mostrar bajo qué circunstancias se fueron creando, quiénes las impartieron, qué libros de texto utilizaron, cuál era el contenido de los cursos y para qué carreras los cursos de física eran indispensables. Respecto a este último punto, se presenta un estudio estadístico del número de alumnos que se titularon en las distintas profesiones a partir de la segunda mitad del siglo, y se observa que para

carreras como las del ingeniero geógrafo, ingeniero industrial e ingeniero electricista, la formación en física era indispensable; se hace ver que esto coincide con el hecho de que eran las carreras de menor demanda estudiantil.

En el capítulo quinto se trata de dar una explicación a esta situación, considerando el vínculo de la física con la industria de la transformación y con el tipo de régimen capitalista dependiente establecido en el país en el siglo XIX, el cual impidió que dichas profesiones pudieran desarrollarse.

Al final se presentan las conclusiones donde se plantea que México no participó en la dinámica de la física como se llevaba a cabo en los países centrales, debido a que se incorporó en la esfera internacional con un régimen capitalista dependiente que le impidió desarrollar una industria propia, manteniendo con ello una dependencia tecnológica. A su vez, la inversión extranjera provocó que los puestos más importantes en el ámbito industrial fueran ocupados por profesionistas extranjeros, desplazando así a los mexicanos, a quienes no les quedó más alternativa que la docencia o los puestos burocráticos. Por otra parte, las profesiones que se ofrecían en la Escuela de Ingenieros vinculadas con la industria, como el ingeniero electricista, el ingeniero mecánico y el ingeniero industrial sufrieron de una alarmante escasez de estudiantes, atribuida por las autoridades a una exagerada enseñanza teórica de las cátedras de física, lo cual mereció un replanteamiento de estas para enfocarlas más hacia la práctica, y para que el ingeniero adquiriera una formación eminentemente de carácter aplicado. Las materias de física eran consideradas la piedra angular en la formación de estos ingenieros, de donde resulta que si éstos se enfrentaron a una serie de obstáculos (provenientes del extranjero) que les impidió desarrollarse, la física sufrió las mismas consecuencias. No obstante esto no sucedió con disciplinas como la biología, la medicina y la geología, las cuales tuvieron un desarrollo tanto teórico como práctico que las llevó a participar en el ámbito internacional e incluso a crear instituciones subsidiadas por el gobierno para su fomento.

Este trabajo cuenta con cinco apéndices, cuya información se ha considerado necesaria tanto para sustentar algunas hipótesis que se elaboraron en el transcurso de la investigación, como para ampliar el contenido de algunos temas que pueden ser de interés

para aquellas personas que deseen introducirse en los aspectos teóricos de los cursos sin tener que recurrir a los libros de texto.

En el apéndice A se presentan, los planes de estudios de las distintas carreras en diversos años, lo que nos permite observar los aumentos graduales que se llevaron a cabo en el número de profesiones y de materias. En el apéndice B se presenta información relacionada con las diversas materias que se impartieron en distintos años y los nombres de los profesores. Mediante estos datos se ha podido determinar qué materias se eliminaron y cuándo se crearon otras. Se puede llegar a una aproximación al por qué de su creación mediante un cotejo con la historia social, económica y política de México.

En el apéndice C se presentan los planes de estudios de las carreras de ingeniero electricista y de maquinista en el momento de su creación. El apéndice D contiene los programas que se pudieron localizar de las cátedras y prácticas de física que se impartieron durante el siglo XIX. Y por último, en el apéndice E se muestra una serie de gráficas - producto de un estudio estadístico que se llevó a cabo durante la presente investigación - sobre el número de estudiantes titulados en el Colegio de Minería en las distintas profesiones y durante el período de 1859 a 1899. Este análisis sirvió para cuantificar la demanda de cada profesión en el transcurso de la segunda mitad del siglo XIX; lo que nos ha permitido sustentar la conclusión global de la tesis mencionada párrafos atrás.

Las aproximaciones historiográficas que usaron los historiadores mexicanos de la ciencia durante el siglo XIX se mantuvieron dentro de la corriente del positivismo historiográfico, el cual se había popularizado en Europa en ese periodo bajo la influencia de la filosofía iluminista que resaltaba los progresos que se habían producido en la ciencia gracias a la participación de los genios europeos. El uso de estos enfoques condujo a la afirmación que en nuestro país no había habido ciencia,⁸ al no encontrar en los textos "pasajes que revelasen que el autor que estudiaba era partícipe de la 'ciencia positiva'

⁸ Saldaña, J. J., "Marcos conceptuales de la historia de las ciencias en Latinoamérica: positivismo y economicismo", *Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias*, J. J. Saldaña (comp.) UNAM, México, 1989.

imperante en su época".⁹ Terminaron por historiar la ciencia europea en México en lugar de historiar la práctica científica de México.¹⁰

Diferentes enfoques historiográficos surgieron con las revoluciones científicas que tuvieron lugar en el siglo XX en los países centrales, y aunque seguían conservando su carácter eurocentrista también se utilizaron en México para estudiar la historia de la ciencia. Estos enfoques cambiaron la concepción triunfalista de la ciencia al considerar los procesos de discontinuidad epistemológica propuestos por Gaston Bachelard,¹¹ y al incorporar aspectos sociales como los expuestos por Boris Hessen en su estudio sobre las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton; el cual conduciría a la historia de la ciencia a otro extremo, el externalismo que considera que "el modo de producción de la vida material condiciona los procesos social, político y espiritual de la sociedad",¹² extremo que se enfrentaría al modelo internalista de la ciencia defendido por Alexandre Koyré, quien no descartaba el que la ciencia fuera vista como un fenómeno social sólo que las condiciones sociales influirían en su desarrollo para impulsarla o frenarla, pero que lo realmente crucial para la producción científica es el deseo de la búsqueda de la verdad. Para Koyré, el desarrollo de la *theoria*, siempre ha tenido una vida propia, "una historia inmanente y que sólo en función de sus propios problemas, de su propia historia, puede ser comprendida por sus historiadores".¹³ Esta dicotomía propició por muchos años diversas polémicas entre internalistas y externalistas que se verían conciliadas por autores como, Thomas Khun,¹⁴ quien consideró a ambos enfoques como complementarios. Misma posición mantuvo Semeón Mikulinsky,¹⁵ quien sostuvo que los factores exteriores de la ciencia como los económicos, sociales, psicológicos o lógicos están unificados en la historia real de la misma. Como enfoque alternativo surgió el de la historia social de las ciencias, y como Roy

⁹ Trabulsi, E., *La historia de la ciencia en México*, Fondo de Cultura Económica-Conacyt, 1984, vol. I, p. 20.

¹⁰ Esto sucedió en general en toda Latinoamérica. Saldaña, J. J., 1989, *op. cit.*, p. 342.

¹¹ Bachelard, G., *La actividad racionalista de la física contemporánea*, Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires, 1975.

¹² Hessen, B., "Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton", J. J. Saldaña (comp.), 1989, *op. cit.*, p. 80. A pesar de ser un modelo eurocentrista, también se utilizó para estudiar la historia de la ciencia en nuestro país.

Ver Gortari, E., *La ciencia en la Historia de México*, Editorial Grijalbo, S. A., México, 1980.

¹³ Koyré, A., "Perspectivas de la historia de las ciencias", J. J. Saldaña (comp.), 1989, *op. cit.*, pp. 154-155.

¹⁴ Kuhn, T., "La historia de la ciencia", *Ibid.*, p. 211.

¹⁵ Mikulinsky, S. R., "La controversia internalismo-externalismo como falso problema", *Ibid.*, p. 244.

Macleod¹⁶ asegura, permite estudiar la ciencia en términos de la institucionalización, la profesionalización, la transmisión, la incidencia, la repercusión y la emergencia de disciplinas científicas -entre otros aspectos- dentro de un contexto cultural, político, ideológico e internacional, entre otros. Este enfoque se ha incorporado a la historia de la ciencia latinoamericana con gran aceptación ya que supone que la ciencia en estos países produjo una interacción con el medio social; esto es, permite incorporar la cultura propia y su identidad, además de estudiar la ciencia como parte de los procesos de transmisión, asimilación, incorporación y transformación de los países de la región.¹⁷

En esta investigación se utilizó como marco teórico el de la historia social de las ciencias porque permite reconstruir la historia de la actividad científica, en este caso la de la física, considerando todos aquellos elementos socioeconómicos y culturales con los que estuvo relacionada y que fueron determinantes en su trayectoria. Además de que supone que la ciencia no tiene lugar en un espacio social vacío, sino que posee estrechas relaciones de interdependencia con las esferas política, económica, social y cultural. Toma en cuenta el contexto local bajo el cual se llegó a formar una comunidad científica mexicana que, como no tuvo las mismas características que las comunidades de los países centrales, llevó a que la ciencia en México adquiriera una dinámica diferente.¹⁸

Las fuentes documentales que se consultaron para desarrollar esta investigación son:

- a) El Archivo General de la Nación (AGN), donde se consultaron los Fondos de Minería, y de Justicia e Instrucción Pública. El primero de ellos, por contar con información del Colegio de Minería de sus primeros años de vida; y el segundo, por tener la información del Colegio desde que pasó a formar parte del Ministerio de Justicia e Instrucción Pública.
- b) El Centro de Estudios Sobre la Universidad (CESU), donde se consultó el Fondo de la Escuela Nacional de Ingenieros, dado que en este lugar se encuentran reunidos todos los

¹⁶ Macleod, R., "Cambio de perspectiva en la historia social de las ciencias", *Ibid.*, pp. 257-299.

¹⁷ Saldaña, J. J., 1989, *op. cit.*, pp. 337-363.

¹⁸ Figuerôa, S., *Ciência na busca do eldorado: A institucionalização das ciências geológicas no Brasil, 1808-1907*, Tesis, Depto. de História da FFLCH-USP São Paulo, 1992.

documentos del colegio desde su transformación en Escuela de Ingenieros hasta el siglo XX.

- c) El Archivo Histórico del Palacio de Minería (AHPM), que contiene toda la información del Colegio de Minería, desde su creación hasta algunos años después de adquirir el país su independencia.
- d) La Biblioteca del Palacio de Minería (BPM), que contiene la mayor parte de los libros que se utilizaron para impartir las cátedras en el Colegio de Minería y los que se adquirieron para ser conservados en la biblioteca con el objeto de ser consultados tanto por los profesores como por los alumnos. Aunque se cuentan con ejemplares de obras que se utilizaron para enseñar diversas materias durante el siglo XVIII, XIX y XX, no todos los volúmenes están completos o en buen estado.
- e) La Hemeroteca Nacional, donde se consultaron únicamente aquellos periódicos que contenían noticias relevantes sobre los cambios que se realizaban continuamente en el Colegio.
- f) La Biblioteca Lafragua de la Universidad de Puebla, por contar con una de las mejores colecciones de libros de texto del siglo XIX. Se consultaron los libros de texto de física que no se pudieron localizar en la Biblioteca del Palacio de Minería.

I.- PANORAMA GENERAL DE LA TRAYECTORIA DEL COLEGIO DE MINERÍA DURANTE EL SIGLO XIX

1.1. Origen del Colegio de Minería

Durante el siglo XVIII la minería experimentó un gran florecimiento en la Nueva España. La explotación de la plata constituía su principal fuente de riqueza al igual que para España. Su producción experimentó un continuo crecimiento durante el siglo XVIII, pero decayó en la década que abarca de 1760 a 1770.¹ Esta caída en la producción condujo a que tanto peninsulares como novohispanos elaboraran propuestas para dar solución al problema. Por parte de los peninsulares, el rey Carlos III envió un conjunto de técnicos alemanes que se encargarían de introducir técnicas y métodos de amalgamación europeos. Esto se inició sin considerar, por una parte, las técnicas novohispanas que tradicionalmente se habían utilizado y, por otra, que las condiciones locales de las minas de la colonia eran diferentes a las europeas.²

En las alternativas que propusieron los novohispanos influyó considerablemente tanto la experiencia técnica que habían adquirido en la minería, como la trayectoria que en términos de difusión de la ciencia habían venido desarrollando desde siglos anteriores.³ En lo que se refiere a la parte técnica, los novohispanos habían inventado artefactos, máquinas, métodos de beneficio y sistemas de ventilación, entre otros, para mejorar la producción minera, porque era de su conocimiento que al ser aceptadas y utilizadas sus patentes se les proveería de privilegios que frecuentemente estaban constituidos de significativas

¹ Brading, D.A., *Mineros y comerciantes en el México Borbónico (1763-1810)*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975, p. 349.

² Saldaña, J. J., "The Failed Search for Useful Knowledge: Enlightened Scientific and Technological Policies in New Spain", en *Cross Cultural Diffusion of Science: Latin America*, Cuadernos de Quipu 2, México, Saldaña, J. J., editor, Sociedad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y de la Tecnología, 1988, pp. 33-57.

³ *Ibidem*.

cantidades de dinero.⁴ Respecto a la parte que se refiere a la ciencia, se había formado una comunidad científica con rasgos culturales propios que generó todo un movimiento de ilustración mexicana en el siglo XVIII, donde participaron novohispanos que tuvieron que autoformarse en ciencia para introducir, difundir, e incluso institucionalizar, la ciencia moderna. Destacaron en esta labor: Francisco Javier Gamboa (1717-1794), Joaquín Velázquez Cárdenas de León (1732-1786), Antonio de León y Gama (1732-1802), José Antonio Alzate y Ramírez (1737-1799), José Ignacio Bartolache (1739-1790), Juan Benito Díaz de Gamarra (1745-1783) y José Mariano Mociño (1757-1820), entre otros muchos.⁵

Tanto el desarrollo de los aspectos técnicos como de los científicos habían tenido lugar de manera aislada durante mucho tiempo, y fue hasta el siglo XVIII cuando se inició una relación estrecha entre ambos. De los problemas prácticos se buscaron soluciones que sustentadas en medidas científicas, y haciendo uso de los avances científicos, se buscaba superar determinados problemas técnicos. Como ejemplo podemos referirnos a la obra de Saenz de Escobar, quien pretendía mediante el uso de la geometría dar solución a los problemas de medidas de minas, aguas y tierras.⁶ Un ejemplo más, es el de Francisco Javier Gamboa, quien propuso reformas tanto jurídico-económicas como científico-técnicas para mejorar el estado de la minería.⁷

El interés de los novohispanos por innovar y cultivar la ciencia los condujo a elaborar una nueva propuesta. Joaquín Velázquez Cárdenas de León y Lucas de Lassaga, mediante su *Representación*, título asignado porque representaban al gremio minero, propusieron al rey en 1774, además de varias reformas jurídico-económicas, la creación de un banco de avíos, de un Tribunal de Minería y la fundación de un Colegio o Seminario

⁴ Sánchez Flores, R., *Historia de la Tecnología y la Invención en México*, Fondo de Cultura Banamex, A. C., 1980, pp. 141-223.

⁵ Ramos Lara, M. P., Saldaña, J. J., "Difusión de la Mecánica Newtoniana en la Nueva España", *Mundialización de la Ciencia y Cultura Nacional*, A. Lafuente et al. (eds.), Madrid, Ediciones Doce Calles, 1993.

⁶ Saenz de Escobar, J., *Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados. El primero de medidas de tierras, el segundo de minas, el tercero de aguas*, manuscrito, Archivo General de la Nación de México, Tierras, vol. 3706, México, 1749. Saenz de Escobar fue abogado de las Reales Audiencias de Guadalajara y México para la instrucción de Alcaldes Mayores, Corregidores, Receptores y Medidores de Tierras de la Nueva España.

⁷ Gamboa, F. X., *Comentarios a las ordenanzas de minas*, J. Ibarra, Madrid, 1761.

Metálico en la Ciudad de México.⁸ En el colegio se pretendía formar tanto profesionistas interesados en cultivar la ciencia por sí misma, como peritos facultativos que mejoraran los métodos de laboreo y beneficio de los metales aplicando los conocimientos científicos.⁹ Algunas propuestas fueron aceptadas y se llevaron a cabo, como la creación del Tribunal de Minería en 1777; mientras que otras encontraron muchos obstáculos, como la creación del colegio. Para 1786 Lassaga y Velázquez Cárdenas no habían podido obtener fondos para fundarlo. Como ambos fallecieron ese mismo año, se nombró al español Fausto de Elhuyar nuevo director del Tribunal y encargado de fundar el colegio. Con esto se continuaba la tradición de que en la colonia los cargos más importantes eran ocupados por peninsulares y no por criollos. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que el Rey se preocupó por enviar como director del colegio a uno de los científicos más renombrados de España. Elhuyar había realizado estudios sobre minería en España, Francia, Suecia, Alemania y Hungría; además gozaba de fama y prestigio por haber descubierto el elemento químico del tungsteno.¹⁰

Fausto de Elhuyar llegó a la Ciudad de México en 1788. Despreciando toda capacidad novohispana, tanto técnica como académica, ignoró los métodos de amalgamación tradicionalmente usados. Se hizo acompañar de mineralogistas europeos para introducir el método de amalgamación inventado por Born, y decidió que el cuadro de profesores que integrarían el colegio lo formarían también europeos, desconociendo de esta manera a los novohispanos propuestos por Velázquez de León. Esto le ocasionó continuas protestas por parte de la comunidad novohispana al punto que en una ocasión el Tribunal de Minería le negó información sobre el proyecto novohispano del colegio, aduciendo "no haber en el archivo de este Tribunal papel alguno relativo [a la formación del Colegio de Minería] que en el título diez y ocho de nuestras ordenanzas está mandando fundar..."¹¹ A

⁸ Lassaga, J. L., Velázquez Cárdenas de León, J., *Representación que a nombre de la minería de esta Nueva España hacen al rey nuestro señor*, imprenta de Felipe de Zúñiga y Ontiveros, México, 1774.

⁹ Ramos Lara, M. P., Saldaña, J. J., "¿Desinterés o interés en la promoción metropolitana de la ciencia?: el caso de la física en la Nueva España", conferencia dictada en el XIXth International Congress of History of Science, que se llevó a cabo en Zaragoza, España, del 22 al 29 de agosto de 1993.

¹⁰ Fausto de Elhuyar compartía créditos con su hermano Juan José por haber descubierto el wolframio en 1783, hoy conocido como tungsteno.

¹¹ AGN, tomo 14, exp. 2, colegios y universidades 1779-1806.

pesar de estos conflictos, el Real Seminario de Minería se inauguró el 2 de enero de 1792, convirtiéndose en el primer colegio en América donde se institucionalizaron simultáneamente disciplinas científicas como las matemáticas, la física, la química y la mineralogía.¹²

Cumplíendose los deseos de Elhuyar, el cuadro de profesores del colegio estuvo integrado por europeos: Andrés José Rodríguez para la cátedra de matemáticas; Francisco Antonio Bataller para la de física experimental; Luis Lindner para la de química; y Andrés Manuel del Río para la de mineralogía. El reglamento del Real Seminario estipulaba que los profesores debían ser seleccionados mediante concursos de oposición, pero esto no fue respetado por Elhuyar y todos los profesores fueron impuestos.¹³ Como ejemplo, tenemos que en el año de 1788 "el rey dió la orden para que Manuel José Rodríguez que había estudiado mineralogía y geometría subterránea en Almadén y había cursado matemáticas en Madrid, pasara a Nueva España por cuenta de la Real Hacienda y se le nombrara profesor del Colegio de Minería".¹⁴ Se le asignó la cátedra de matemáticas porque -se decía- requería de un menor conocimiento y no se abrió a concurso de oposición porque era, probablemente, la cátedra que mejor manejaban algunos novohispanos que incluso la impartían en la Real y Pontificia Universidad. Algo similar aconteció con la cátedra de física. Elhuyar rechazó a Antonio de León y Gama, sabio astrónomo novohispano, a quien el antiguo director Velázquez de León había asignado como profesor de física experimental.¹⁵

Consciente Elhuyar de la imposibilidad de continuar contratando catedráticos de España, creó la categoría de ayudantes de clases cuya obligación consistía en auxiliar a los catedráticos en la preparación y ejecución de los experimentos, repasar las lecciones a los

¹² Moles, A., Ruiz de Esparza, J., Hirsh, E., Puebla, M., *La enseñanza de la ingeniería mexicana 1792-1990*, Editado por la Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México, 1991, p. 9.

¹³ Ayala, B., "La ingeniería en tiempo de la independencia", *Ingenieros en la independencia y la revolución*, Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1987, pp. 15-30.

¹⁴ AGN, tomo 14, exp. 2, colegios y universidades 1779-1806.

¹⁵ Ramos Lara, M. P., *Difusión e Institucionalización de la física en México en el siglo XVIII*, Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, Universidad de Puebla, México, agosto 1994.

alumnos, y el resto del tiempo dedicarlo al estudio y preparación individual dentro de la biblioteca con el objeto de suplir al profesor en caso de ausencia. Esta alternativa le convino a Elhuyar porque en la primera década del siglo XIX los mismos egresados del colegio sustituyeron a los profesores europeos. Así cuando en 1800 murió el catedrático de física Francisco Antonio Bataller en su lugar quedó Salvador Sein quién enfermó poco tiempo después sucediéndolo el alumno del colegio Juan José de Oteyza; en 1803 murió el profesor de matemáticas Andrés José Rodríguez y quedó en su lugar Manuel Ruiz de Tejada para el primer curso y Oteyza para el segundo. En 1805 Manuel Cotero sustituyó por enfermedad a Luis Lindner, catedrático de química y en 1806 Juan Arezorena sustituyó por varios años (1806-1809) a Manuel del Río, catedrático de mineralogía, debido a que fue comisionado para establecer una ferrería en Coacomán.

En 1803 llegó a la Nueva España Alejandro von Humboldt (1769-1859), con la intención de realizar estudios geológicos mediante observaciones barométricas, trigonométricas, mineralógicas, geológicas y geográficas de algunas regiones del territorio. Durante sus estancias en la ciudad de México asistió cotidianamente al Colegio de Minería, donde concurrió a las clases y actos públicos. Con ayuda de los catedráticos Andrés Manuel del Río y Luis Lindner, y de los ayudantes Manuel Ruiz de Tejada y Manuel Cotero, analizó los datos y observaciones que había obtenido en diversas excursiones y sometió a ensayos químicos las muestras mineralógicas que había recolectado. Los alumnos Juan José Rodríguez y Rafael Dávalos le ayudaron en la construcción de cartas geológicas y en el trazo del perfil del camino que unía a la ciudad de México con las minas de Guanajuato.¹⁶ Aquí es conveniente mencionar algunas de las opiniones que Humboldt externó durante su estancia, pues reconoció la labor del Colegio y del Tribunal de Minería para impulsar la minería apoyando individuos que por sí mismos no contaban con los fondos necesarios para explotarlas:

¹⁶ Izquierdo, J. J., *La primera casa de las ciencias en México: El Real Seminario de Minería (1792-1811)*, Ediciones Ciencia, México, D. F., 1958, p. 54.

Los discípulos del Colegio de Minería, una vez instruidos a expensas del Estado, son enviados por el Tribunal a los pueblos cabezas de las varias diputaciones. No puede negarse que el sistema representativo que se ha seguido en la nueva organización del cuerpo de mineros mexicanos tiene grandes utilidades; porque mantiene el espíritu público en un país donde los ciudadanos, esparcidos en un territorio de inmensa extensión, no conocen bastante que tienen intereses comunes...¹⁷

Se refirió al colegio como uno de los centros científicos más importantes de América, donde se elaboraban los instrumentos y máquinas necesarias tanto para enseñar como para desaguar las minas:

Ninguna ciudad del Nuevo Continente, sin exceptuar las de los Estados Unidos, presenta establecimientos científicos tan grandes y sólidos como la capital de México, como la Escuela de Minas, el Jardín Botánico y la Academia de las Nobles Artes¹⁸

La Escuela de Minas tiene un laboratorio químico, una colección geológica clasificada según el sistema de Werner, y un gabinete de física, en el cual no sólo se hallan preciosos instrumentos Ramsden, Adams, Le Noir y Luis Berthoud, sino también modelos ejecutados en la misma capital con la mayor exactitud, y de las mejores maderas del país¹⁹

Las minas de Morán se habían abandonado hacía 40 años por problemas de inundación, en este lugar

Se colocó en 1801 una máquina con columna de agua, cuyo cilindro tiene 26 centímetros de altura y 16 de diámetro. Esta máquina, que es la primera de este género que se haya construido en América, es muy superior a las que existen en las minas de Hungría fue construida por del Río y la ejecutó el señor Lachaussée [...] que también construyó para la Escuela de Minas de México una colección muy importante de modelos útiles para el estudio de la mecánica y de la hidrodinámica.²⁰

Asimismo reconoció la labor científica que desarrollaban los novohispanos e incluso utilizó sus trabajos para desarrollar el suyo propio.²¹

¹⁷ Humboldt, A., *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*, Editorial Porrúa, S. A., México, 1973.

¹⁸ *Ibidem*.

¹⁹ *Ibidem*.

²⁰ *Ibid.*, p. 79, 81, 362-363.

²¹ Entre los trabajos que cita Humboldt en su *Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España*, se encuentran los de Casimiro Chovell, *Memorias sobre las minas de Villalpando, sobre las minas de mercurio y sobre la dirección de las montañas en México*, 1803; Fausto de Elhuyar, *Memoria manuscrita sobre la minería novohispana, dirigida al virrey conde de Revillagigedo*; Antonio de León y Gama, *Manuscritos*; Salvador Scin, *Memoria sobre el movimiento giratorio de las máquinas*; Joaquín Velázquez Cárdenas de León, *Informe y exposición de las operaciones hechas para examinar la posibilidad del desagüe general de la laguna de México y otros fines a él conducentes*, 1774; Antonio Alzate, *Plano de*

En la primera década del siglo XIX el Real Seminario de Minería continuó con la intención de formar no sólo técnicos, sino también individuos que cultivaran la ciencia por sí misma.²²

1.2. El Colegio de Minería durante el movimiento de independencia

El Colegio de Minería era subsidiado por el gremio de los mineros a través del Tribunal de Minería, del cual Elhuyar también era director. En el cuadro 1.1 se muestran los gastos por año que realizó el colegio y el presupuesto que recibió a principios, mediados y finales del siglo XIX.

A principios del siglo XIX el Colegio de Minería empezaba a adquirir presencia dentro del ámbito de la producción minera. Además de que los primeros alumnos que se inscribieron habían terminado sus estudios y se encontraban laborando en los reales de minas; con apoyo del catedrático de mineralogía, Andrés Manuel del Río, Elhuyar empezó a construir bombas para desaguar minas, debido al fracaso que se había tenido con las que se trajeron de Europa y que no se pudieron adaptar porque las condiciones locales de la colonia eran diferentes a las metropolitanas. En 1805 se propuso empezar a desaguar la mina de Real del Monte con la máquina de columna de agua, además de establecer en la mina de Jesús bombas y máquinas movidas por bestias.²³

Como la construcción de estas máquinas exigía grandes cantidades de hierro, esto condujo a que se explotaran las minas de dicho metal. En particular se comisionó en 1805 a Manuel del Río el establecimiento de una fábrica de hierro en Coalcomán.²⁴ Le auxiliaron en dicho proyecto los hermanos José Mariano y Juan José de Oteyza y Vertiz, el primero de

las cercanías de México; Juan José de Oteyza, *Plano de los alrededores de Durango*; León y Gama, *Descripción de las dos piedras, que con ocasión del nuevo empedrado que se está formando en la plaza principal de México se hallaron en ella el año de 1790*, México, 1792; Andrés del Río, *Elementos de Oryctognosia*; León y Gama, *Descripción orthográfica universal del eclipse de Sol del Día 24 de junio de 1778*; Carlos de Sigüenza y Góngora, *Libra Astronómica y Filosófica* publicada en 1690; entre otros. Humboldt, A., *op. cit.*, pp. CXXII-CXLII.

²² Izquierdo estima en 92 el número de alumnos que fueron pensionados de 1792 a 1811, tomando en cuenta que en 1810 y 1811 se suspendieron las admisiones. Ver Izquierdo, J. J., *op. cit.*, pp. 44-50.

²³ AHPM, M.L.91.B., *Minería informes 1801-1808*, p. 190.

²⁴ AHPM, M.L.168.B., *comprobantes de la cuenta de la fábrica del año de 1805*.

ellos profesor de física en el Colegio de Minería. Estos últimos se encargaron de comprar los instrumentos necesarios para explotar la mina.

Cuadro 1.1 Gastos que realizó el colegio en diversos años de 1805 a 1816 y presupuesto asignado de 1844 a 1881.

Año	gasto
1805	29,206.0
1806	25,064.5
1807	30,218.3
1808	32,602.5
1809	32,143.7
1810	28,145.4
1811	22,271.1
1812	21,000.0
1813	20,553.2
1814	17,554.0
1815	16,572.5
1816	16,906.3

Año	Presupuesto
1844	53,326.0
1858	65,000.0
1880	37,120.0
1881	107,000.0

Fuentes: Archivo General de la Nación, Ramo Justicia Instrucción Pública; Centro de Estudios sobre la Universidad, Fondo Escuela Nacional de Ingenieros.²⁵

El Tribunal de Minería, además de los gastos que efectuaba para el sostén del colegio, en la construcción de bombas y en la mina de Coalcomán, se encontraba invirtiendo en la construcción tanto de un monumental edificio para ubicar al colegio, como de puentes y caminos que se requerían para cubrir las necesidades de la minería.²⁶ Sus gastos aumentaron considerablemente cuando surgieron las primeras manifestaciones de un movimiento de independencia el Tribunal decidió apoyar al Rey ofreciéndole ocho

²⁵ AGN, tomo 14, exp. 2, Colegios y Universidades 1779-1806; AGN, vol. 38, Justicia e Instrucción Pública 1833-1854; AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 72, fs. 86-87; CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 35, fo. 290 bis.

²⁶ AHPM, M.L.170.B.

compañías de artilleros, cien cañones de artillería y varios donativos. La construcción no sólo de cañones de artillería sino también de obuses montados con sus respectivos juegos de armas, las llevaba a cabo Manuel Tolsá en el interior del edificio que se estaba construyendo para el colegio.²⁷

Durante la Guerra de Independencia el Colegio de Minería se enfrentó a una división de sus alumnos y egresados. Por una parte estaban los que se quedaron en el colegio y defendían la posición conservadora, y por la otra los que se encontraban en los reales de minas y se unieron al movimiento insurgente. Poco se sabe de la intervención que en este movimiento tuvieron los alumnos que se quedaron en el colegio y formaron un batallón patriótico. Por lo poco que se ha encontrado en algunos documentos del Archivo Histórico del Palacio de Minería, se sabe que se les dotó de un uniforme especial con espadín, que recibían instrucción de militares -como el sargento Lima-, que el cochero los transportaba a determinados lugares conflictivos y que mientras algunos alumnos recibieron atención médica por heridas de guerra otros murieron.²⁸

Los alumnos e ingenieros egresados del colegio que se unieron al movimiento insurgente se encontraban trabajando en Guanajuato, lugar que se distinguía por la riqueza de sus minas. Estos fueron Casimiro Chovell, José Mariano Jiménez, Rafael Dávalos y

²⁷ Se le pagaba a Tolsá la cantidad de 6,000 pesos mensuales para los gastos de fundición. Ver AHPM, M.L.172.B. y M.L.98.B. En la construcción del edificio se gastó 100,500 pesos en 1807, ver AHPM M.L.170.B; en 1808 se gastó 92,500, ver AHPM, M.L.171.B.; en 1809 se gastó 95,000, ver AHPM, M.L.172.B. En la construcción del puente de Zimapan se gastaron 14,200 y 23,597 pesos, ver AHPM, M.L.171.B. Ver AGN, tomo 14, exp. 2, colegios y universidades 1779-1806.

Se tiene referencia de que Tolsá utilizó el hierro de la mina de Coalcomán para construir los cañones y los obuses desde 1810 hasta 1813 (ver AHPM, M.L.99.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1808-1810). En 1808 se vio en la necesidad de invertir en la construcción de nuevos puentes y caminos militares llegando a utilizar la fuerza de 1200 a 1500 hombres (ver AHPM, M.L.172.B. y AHPM, 1811 I 152). Las pruebas de los cañones eran realizadas por el ingeniero militar Constanzó, a petición de la Real Audiencia Gobernadora (ver AHPM, M.L.98.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1808-1810).

²⁸ Así, se tiene el caso de Reyes quién en 1811 recibió atención médica de Montaña y murió al año siguiente; al alumno Herce se le llevó al Hospital de San Andrés para recibir curaciones; al ayudante Corio se le entregaron 200 pesos para sus curaciones; al practicante González en 1814 se le envió al Hospital para curarse; y en 1816 falleció el alumno porcionista José María la Chaussé. Ver AHPM, M.L.338.B. Libro de Ordenes 1811; AHPM, M.L.339.B. Ordenes 1812; AHPM, M.L.340.B. Libro de Ordenes 1814; AHPM, M.L.100.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1814-1816; AHPM, M.L.342.B. Libro de Ordenes 1816; AHPM, M.L.99.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1808-1810; AHPM, M.L.98.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1808-1810; AHPM, M.L.294.B. Almacén 1808; AHPM, M.L.337.B. Libro de ordenes 1810.

Ramón Fabié.²⁹ El caudillo Miguel Hidalgo nombró coronel a Chovell y lo puso al frente del regimiento que se estableció en la Valenciana, además de ser comisionado para organizar una casa de moneda; Jiménez recibió el cargo de capitán de artillería; a Dávalos lo designó director de la fundición de cañones y a Fabié teniente coronel. Chovell y Dávalos iniciaron sus funciones de fundición de cañones, fabricación de armas y amonedación, mientras que Jiménez y Fabié participaron al frente de las batallas. En opinión de Zárate, la artillería que salió de aquella fundición era escasa y muy imperfecta, al igual que todo el armamento que en ella se fabricó.³⁰ Al ser derrotados los Insurgentes, los egresados del colegio fueron detenidos y castigados con la pena capital. Dávalos fue fusilado como traidor, por la espalda; Chovell y Fabié fueron ahorcados días después en la plaza de Granaditas, Jiménez logró salir de la ciudad y se dirigió a San Luis Potosí donde formó nuevamente una división, a la que se unieron otros estudiantes y egresados del colegio, como Isidro Vicente Valencia, con la cual ocupó victoriosamente varias ciudades como la de Nuevo León y Saltillo. Jiménez fue apresado junto con Allende por los realistas y fusilado como traidor al Rey el 26 de junio de 1811, en Acatita de Baján. Años después, y en honor a la participación de estos ingenieros en el movimiento de independencia, se les puso su nombre a nuevas especies y géneros de minerales descubiertos, como el género Zexmenia, por José Mariano Jiménez; el de un silicato de alúmina Chovelia, por Casimiro Chovell; y al yoduro de plata el de Valencia o Valencita, por Isidro Vicente Valencia.³¹

El egresado del colegio José Antonio de Rojas también se vio influido por la ideología liberal en Guanajuato, lugar donde impartía la cátedra de matemáticas. Por sus ideas fue aprehendido y enjuiciado por la inquisición bajo el cargo de "hereje formal atea". Sin embargo, Rojas pudo huir y se refugió en los Estados Unidos donde permaneció el resto de su vida.³²

²⁹ AHPM, M.I. 91.B., Minería, informes 1801-1808, p. 225.

³⁰ Riva Palacio, V., *Resumen Integral de México a través de los siglos*, Tomo III (escrito por Julio Zárate) Compañía General de Ediciones, S. A., México, 1972, p. 101.

³¹ Izquierdo, J. J., *op. cit.* p. 53 y pp. 231-233.

³² *Ibid.*, p. 45.

A pesar de la inestabilidad que se vivía en la Nueva España el colegio no detuvo totalmente sus actividades. Aunque en 1810 no se celebraron los actos públicos reglamentarios, ni en 1811 se impartieron cursos, en el mes de septiembre de éste último año el colegio trasladó sus instalaciones al nuevo edificio.³¹ A pesar de que en 1812 los fondos con que contaba eran insuficientes, los cursos se iniciaron en enero de ese año.³² En 1813 el Tribunal solicitó al Virrey que relevara a los colegiales del servicio militar a condición de que regresarían a sus actividades militares cuando existiera la necesidad de defender la ciudad de México.³³ Al año siguiente el Tribunal ofreció una fiesta en las instalaciones del nuevo edificio con el objeto de celebrar la restauración del Rey en su trono.³⁴

Conforme transcurría la segunda década del siglo XIX se agudizaba la decadencia en los sectores minero, agrícola y comercial, debido a la prolongada guerra de independencia.³⁵ Para evitar la ruina en el ámbito de la minería, el Tribunal propuso en 1816 "rebajar los derechos de la plata a la mitad de su cuota anual, y la excención total de ellos a las minas que por sus circunstancias lo merezcan". Así también, propuso en 1817 cerrar el colegio por los problemas económicos por los que estaban atravesando. Se lamentaban por el hecho de no poder pagar los sueldos de los profesores y de no poderlos colocar en otras instituciones debido a que pocos colegios impartían una enseñanza de carácter científico. A pesar de los problemas el Rey decidió no cerrarlo y, aunque sus actividades eran irregulares, se continuaron admitiendo alumnos,³⁶ solicitando y recibiendo libros³⁷ e instrumentos y presentando exámenes.³⁸ En 1821 se repitió el intento de

³¹ Ver AHPM, M.L.99.B., Diario de las labores del Tribunal de Minería 1811-1843. A pesar de que el edificio terminó de construirse en 1811, pronto se tuvo que invertir en reparaciones. En 1814 y 1816 se realizaron las primeras reparaciones sencillas. De 1816 a 1826 el monto de las reparaciones ascendió a 207,061 pesos aproximadamente. Ver Tamayo, J., *Breve Reseña sobre la Escuela Nacional de Ingenieros*, Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura, tomo XVIII, p. 12.

³² Ramírez, S., *Datos para la historia del Colegio de Minería*, edición de la Sociedad "A. Alzate", México 1890, p. 224.

³³ *Ibid.*, p. 227

³⁴ AHPM, M.L.100.8 Diario de las labores del Tribunal de Minería, 1814-1816.

³⁵ Alperovich, M. S., *Historia de la independencia de México (1810-1824)*, Editorial Grijalbo, S. A., México, D. F., 1967, p. 106.

³⁶ Ramírez, S., 1890, *op. cit.* p. 238.

³⁷ AHPM, M.L.344.B. Libro de ordenes 1818.

³⁸ AHPM, M.L.101.B.

suspender las clases del colegio como medida económica, y se optó por conservar únicamente algunos salarios de aquellos empleados que no podían incorporarse en otro lugar, como era el caso de los catedráticos. La idea era mantener esta situación hasta que la minería recuperara el mismo estado que tenía al crearse el colegio.⁴¹

Algunos meses antes de la elaboración del Acta de Independencia los alumnos del colegio Joaquín Velázquez de León⁴² y Miguel Mateos, quienes habían ingresado como alumnos pensionistas en enero de 1817, se separaron del colegio para incorporarse al ejército de Iturbide, ingresando como soldados distinguidos.⁴³ Ante tal acción, el director les advirtió que si regresaban antes de 19 días se les trataría con ligereza su irreflexión, en caso contrario, serían expulsados.⁴⁴ Al expedirse el Acta, los alumnos, los catedráticos, el rector y los empleados se unieron al juramento de la independencia a excepción de Elhuyar, quien renunció a su cargo tras 33 años de haber ejercido y regresó a España, quedando en su lugar el administrador general Miguel de Septién después de habersele negado a Andrés Manuel del Río la posibilidad de ocupar dicho cargo.⁴⁵

Varias han sido las opiniones sobre la influencia del colegio tanto en la minería como en la educación. Por ejemplo, Alamán opinó en 1849 que:

(Aunque) el Colegio ha formado algunos sujetos instruidos en las matemáticas, física y química (...) ha estado lejos de proveer a las negociaciones de 'sujetos instruidos en toda la doctrina necesaria para el más acertado laborio de las minas' que fue el objeto de su fundación, pues éstos escasean tanto al cabo de cincuenta años de establecido el colegio y de haberse erogado en él grandes gastos, como antes de su establecimiento.⁴⁶

Manuel Baranda como Ministro de Justicia e Instrucción Pública escribió en 1844 una memoria sobre educación donde se refirió al colegio de la siguiente manera:

⁴¹ Ramírez, S., 1890, *op. cit.* p. 247.

⁴² Joaquín Velázquez de León era sobrino del primer director del colegio Don Joaquín Velázquez Cárdenas de León.

⁴³ AHPM, M.L.101.B.

⁴⁴ AHPM, M.L.102.B.

⁴⁵ *Ibidem*.

⁴⁶ Alamán, L., *Historia de Mejico*, Consejo Editorial del gobierno del Estado de Guanajuato, México, 1989, p. 67.

No era poca ventaja haber establecido en México el cultivo de ciencias exactas, bajo de una planta verdaderamente nueva y casi desconocida para nosotros. Compárese lo que se aprendía en los llamados cursos de filosofía y lo que tenía que aprenderse en la escuela de minas, y se verá la excesiva diferencia casi tan grande como la que haya de lo positivo a lo negativo; ya, pues, el hecho de haberse creado ese establecimiento ha sido un paso muy avanzado, y lo fue mucho mayor cuando a su ejemplo se levantó otro semejante en Guanajuato.⁴⁷

De igual forma, Staples opina lo siguiente:

Sin duda, el mejor establecimiento científico del país era el Colegio de Minería, aunque aún se utilizaban textos tradicionales y obsoletos como el de Bails de matemáticas y el de Brissons de física, los profesores exponían temas más recientes (como el de la electricidad, el magnetismo y el galvanismo) a través de sus apuntes que elaboraban al consultar textos más modernos, como la física de Pouillet, "donde todo esto y otros avances del día estaban perfectamente bien explicados".⁴⁸

En 1817 Elhuyar escribió su libro *Indagaciones sobre la amonedación en Nueva España*, en el que hace una síntesis del desarrollo de la minería desde los inicios hasta finales del periodo colonial. Pese a que esta obra no mencionó al Colegio de Minería como un factor decisivo para el desarrollo de esta industria, lo que consideró un hecho crucial para el incremento de la producción de la plata fue la creación del Real Tribunal de Minería (1777) y la aplicación de las reformas que propusieron sus representantes novohispanos.⁴⁹

⁴⁷ Memoria presentada por Manuel Baranda a las Cámaras del Congreso Nacional de la República Mexicana en enero de 1844.

Baranda fue abogado de Guanajuato, exinspector de Instrucción Pública, exgobernador de su estado y Secretario de Estado y del Despacho de Justicia e Instrucción Pública. Durante el gobierno del Presidente Santa Anna logró reunir bajo una sola dirección los asuntos educativos del país. Ver Staples, A., *Educación: panacea del México independiente*. Biblioteca Pedagógica, 1985, pp.121-122.

⁴⁸ Staples, A., "Panorama educativo al comienzo de la vida independiente", *Ensayos sobre Historia de la educación en México*, El Colegio de México, 1981, p. 159.

⁴⁹ Elhuyar destaca como las reformas más importantes: 1) La "absoluta exención de los derechos de amonedación, sin retención de febles, ni señalar precio al oro y la plata para los demás usos"; 2) "Supresión del derecho de afinacias en las platas"; 3) "Supresión del derecho de mermas en el apartado"; 4) "Reducción del derecho de manufactura en el mismo á 2 reales por marco"; 5) "Extension de la separacion de las partes mixtas de leyes bajas hata el grado que puedan costearla los particulares". Ver Elhuyar, F., *Indagaciones sobre la amonedación en Nueva España*, Miguel Angel Porrúa, S. A., México, 1979, pp. 90-100.

1.3. El Colegio de Minería durante la instauración de la República

El movimiento de independencia afectó considerablemente los ramos económicos más importantes del país, entre los que se distinguía el de la minería. Esto condujo a que los apoderados de diversos reales de minas propusieran al Real Tribunal que cerrara el Colegio de Minería hasta que se mejorara el estado del fondo de minería o que se redujera la enseñanza a tres años. Ninguna de estas sugerencias se aprobó, por lo que el colegio continuó funcionando de manera regular.⁵⁰ Tampoco se alteró su funcionamiento cuando el presidente Guadalupe Victoria extinguió el Tribunal de Minería en 1826, erigiendo en su lugar la Junta Provisional de Minería, la cual dependía del Estado.⁵¹

Durante los primeros años de independencia los gobernantes se preocuparon por introducir una educación científica en todos los niveles de enseñanza. Por ejemplo, en la Constitución de 1824 se estipuló el regular la instrucción pública promoviendo la ilustración; esto es, creando establecimientos científicos en todas las áreas y fomentando todo tipo de publicaciones.⁵² Participaron en este proyecto antiguos estudiantes y miembros del Colegio de Minería, como Lucas Alamán y Andrés Manuel del Río, quienes elaboraron en 1825 propuestas educativas considerando que "el aumento de las producciones era consecuencia de la ilustración del pueblo en las ciencias útiles" como las matemáticas, la física (mecánica), la química, la historia natural y la geografía, entre otras.⁵³ En particular, Lucas Alamán, como primer Ministro de Relaciones, declaraba que "sin instrucción no hay libertad", ya que consideraba que la instrucción general es "uno de los más poderosos medios de prosperidad".⁵⁴ En 1830, dentro del plan de instrucción superior, propuso la

⁵⁰ Ayala, B., *op. cit.*, p.28.

⁵¹ La dotación la continuó aportando el fondo de Minería y el director seguía siendo nombrado por la junta general de mineros. Ver AHPM, M.L.102.B.

⁵² Gómez Navas, L., *Política educativa de México*, Editorial Patria, S. A., México 1982, pp. 44-47.

⁵³ Rodríguez, L., "Ciencia y Estado en México: 1824-1829", en *Los orígenes de la ciencia nacional*, Editor Juan José Saldaña, Cuaderno de Quipu 4, Sociedad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1992, pp. 147-152.

⁵⁴ Lucas Alamán encabezó la Secretaría de Estado y del Despacho de Relaciones Exteriores e Interiores durante los primeros años de la independencia. Ver Alamán, L., *Obras Completas*, vol. IX, p. 86, 202 y 221.

división de los establecimientos educativos: ciencias eclesiásticas; derecho, política y literatura clásica; ciencias físicas y naturales; y ciencias médicas.

Aunque en la propuesta de Alamán el Colegio de Minería se encargaría de impartir las ciencias físicas, la estructura de esta institución no cambió sino hasta 1833, cuando José María Luis Mora⁵⁵ elaboró un proyecto de organización educativa donde se consideraba la desaparición de varios colegios como los de Santa María de Todos los Santos, de San Idelfonso, San Juan de Letrán, San Gregorio, así como la propia Universidad, creándose en cambio una Dirección General de Instrucción Pública.⁵⁶ La educación se declaró libre y, en particular, la educación superior quedó organizada en seis establecimientos:

- 1ro. Estudios preparatorios;
- 2do. Estudios ideológicos y humanidades;
- 3ro. Ciencias físicas y matemáticas;
- 4to. Ciencias médicas;
- 5to. Jurisprudencia;
- 6to. Ciencias eclesiásticas.

El establecimiento de ciencias físicas y matemáticas debía reunir los estudios científicos, otorgaría los títulos, o bien ofrecería los estudios de ensayadores, peritos beneficiadores y peritos ingenieros de minas, por lo que la Dirección General de Instrucción Pública decidió crear el establecimiento de ciencias físicas y matemáticas en el Seminario de Minería. Nombró director a Ignacio Mora y Villamil. José Francisco Robles, antiguo director, antes de entregar el edificio, informó que pertenecía al cuerpo de mineros "con cuyos caudales se fabricó y levantó y se ha modificado". No se oponía a entregar el edificio a la enseñanza pública, siempre y cuando se tomara en cuenta el derecho y propiedad de los mineros del edificio. Gómez Farías le contestó que por el artículo 19 de la ley del 19 de octubre, debería entregar el edificio ya que "las disposiciones de las leyes no deben nunca sufrir retardo en su cumplimiento". Robles insistió que lo entregaría bajo expresa protesta

⁵⁵ José María Luis Mora (1794-1850) era doctor en teología por la Real y Pontificia Universidad y miembro de la Diputación Provincial.

⁵⁶ La Dirección estaba compuesta por el Vicepresidente de la República y 6 directores nombrados por el Gobierno. La dirección tenía a su cargo todos los establecimientos públicos de enseñanza. Entre otras funciones tenía la de formar los reglamentos y nombrar los gobiernos de estos establecimientos, elegir y proporcionar los libros elementales para la enseñanza, etcétera. Ver Gómez Navas, L., *op. cit.*, pp. 44-47; y AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 10, fs. 159.

de que tanto el edificio como todo cuanto se hallaba dentro de éste era propiedad de los mineros. Insistió en que si se arrendaba se evitarían todos estos problemas.⁵⁷ Después de entregar el edificio solicitó que al menos el dinero que se obtenía del arrendamiento de una parte del edificio, se le entregara al cuerpo de mineros.⁵⁸ Dicha petición fue negada, bajo la justificación de que por la ley del 19 de octubre se destinó a la instrucción pública.⁵⁹

Este programa liberal fue derogado por Antonio López de Santa Anna en 1834. En lugar de la Dirección se creó la Junta provisional y se restableció la educación al sistema antiguo. Mora se exilió en Europa, donde comentaba que "el general Santa Anna, cual otro Atila de la civilización mexicana, vino mal a propósito a derribar por un poder usurpado, cuanto hasta entonces se había hecho".⁶⁰ Respecto a esta situación Barbosa Heldt opina que fuera "de la intensísima revolución educativa que llevó a cabo el gobierno del doctor Valentín Gómez Farías en el breve lapso de un año -1833-, inspirada en las ideas del doctor José María Luis Mora, no hay nada, hasta antes de 1867, que responda a una real concepción de la educación nacional".⁶¹

A principios de 1834 el Ministro de Relaciones Exteriores expidió una circular para que los agrimensores se recibieran en el establecimiento de ciencias físicas y matemáticas, el cual recobró, meses después, su carácter original de colegio.⁶² Las necesidades del país abrieron nuevos campos de acción de los egresados del colegio y sus actividades ya no se limitaron a los trabajos de minería, sino se extendieron a trabajos geográficos, de ingeniería civil y de ingeniería militar.⁶³ De hecho, el término de ingeniero se incorporó, por primera vez, como título de la profesión del Ingeniero de minas en 1843, cuando, a través de un nuevo proyecto educativo, se transformó el colegio en Instituto de Ciencias Naturales, en el

⁵⁷ AGN, vol. 13, Justicia e Instrucción Pública, fs. 54-57.

⁵⁸ *Ibidem*.

⁵⁹ AGN, vol. 11, Justicia e Instrucción Pública, 1822-1834, fs. 37.

⁶⁰ Staples, A., 1985, *op. cit.* p. 97.

⁶¹ Barbosa Heldt, A., *Cien años en la educación de México*, Editorial Pax-México, México, 1985, p. 7.

⁶² Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, pp. 294-297.

⁶³ Ver Herrera Sánchez, G., "La Ingeniería en tiempo de la Revolución", en *Ingenieros en la Independencia y la Revolución*, Sociedad de exalumnos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México, 1987, p. 31.

Ver Tamayo, J. L., *op. cit.*, p. 12.

cual se crearon nuevas carreras como las de geógrafo, naturalista y apartador de oro y plata, además de que se incorporaron los estudios preparatorios.⁶⁴ La inestabilidad en la que se encontraba el país impidió que dicho cambio se llevara a cabo de manera permanente, incluso el colegio se cerró en varias ocasiones y entró en un periodo de austeridad que condujo a penosas fricciones con la Junta de Fomento y Administrativa de Minería, que era la que le otorgaba su presupuesto, motivo por el cual, el gobierno decidió darle el dinero directamente al colegio sin pasar por la Junta.⁶⁵

En 1853, una vez restablecido el centralismo con Santa Anna, el Colegio de Minería quedó sujeto al Ministerio de Fomento, el cual estaba a cargo Joaquín Velázquez de León, sobrino del primer director del colegio.⁶⁶ Por otra parte, los acreedores de minería solicitaron al supremo gobierno que como el real de minería no era renta nacional, se restituyera a su antigua naturaleza de fondos de los mineros y sujetos a sus antiguas leyes; de esta manera el fondo le asignaría al colegio 65,000 pesos para su sostenimiento. Esta petición sería aprobada hasta 1859 por el presidente interino Felix Zuloaga.⁶⁷ Además, por conducto del ministro de fomento Joaquín Velázquez de León y por decreto, se estableció la Escuela Práctica de Minas en Fresnillo, Zacatecas, con el objeto de que los estudiantes al finalizar sus estudios teóricos se trasladaran y hospedaran en esta escuela para llevar a cabo tanto sus prácticas en un centro minero como para continuar cursando materias de carácter práctico.⁶⁸

⁶⁴ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 314; Herrera Sánchez, G., *op. cit.* p. 31; y Tamayo, J. L., *op. cit.* p. 14; Vazquez de Kanauth, J., *Nacionalismo y educación en México*, El Colegio de México, 1970, p. 28.

⁶⁵ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 304, y pp. 330-334.

Durante la ocupación de las fuerzas estadounidenses en 1847, los profesores contribuyeron a la defensa del país donando parte de su salario para la subsistencia del ejército nacional.

⁶⁶ Ramírez, S., 1890, *op. cit.* p. 376.

⁶⁷ AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 72, fs. 3-4.

⁶⁸ En 1851, el entonces diputado Antonio del Castillo propuso la creación de la Escuela Práctica de Minas para fortalecer la formación práctica de los estudiantes del Colegio de Minería. Se fundó en 1853 por decreto del presidente Antonio López de Santa. Se designó como director a Miguel Velázquez de León. Estaban obligados a practicar en dicha escuela los alumnos que hubiesen terminado los estudios teóricos de las carreras de ingeniero de minas y beneficiador de metales. La práctica tendría una duración de dos años y medio, destinándose el primero a la explotación de minas, el segundo a la metalurgia y los seis meses restantes a hacer expediciones en otros sitios. La escuela debía contar con un laboratorio de química y metalurgia, colecciones de minerales, una biblioteca, modelos a escala de las máquinas, hornos, y otros instrumentos necesarios para las medidas y observaciones que se llevaban a cabo en las minas. Las visitas a las haciendas tenían el objeto de hacer estudios tanto técnicos como económicos sobre beneficios de metales. Los alumnos tenían que cursar mineralogía, zoología, laboreo de minas y mecánica aplicada. A consecuencia de la crisis económica que tuvo lugar en 1860, se decidió cerrar la escuela. Se reabrió en 1883 por intervención del mismo Del Castillo, como

Al ser derrocado Santa Ana el país continuó con una situación inestable que perjudicó la situación económica y política del colegio. Debido a la inestabilidad de la nación se estableció un Consejo de Minería cuyo presidente sería el director del colegio, quien informaría sobre cualquier asunto al Ministerio de Colonización, Comercio, Industria y Fomento; expediría los títulos de las profesiones, proveería las plazas; nombraría comisiones para explicar algunos fenómenos naturales, y formar los reglamentos y programas del colegio y de la Escuela Práctica.⁶⁹ Factores como la imposición del director por el Presidente de la República y la introducción de ejercicios espirituales produjeron la inconformidad de los alumnos quienes al unirse para hacer un motín fueron expulsados; este hecho los motivó a entrar al colegio por la fuerza por lo que las autoridades recurrieron a la ayuda de un batallón para sacarlos. El colegio se cerró y regresó a sus actividades únicamente con los estudiantes que no participaron en la rebelión.⁷⁰ La crisis económica que sufrió el colegio en 1860 condujo a que se formara una comisión, para solicitar un aumento en el presupuesto del colegio, integrada por Manuel Ruiz de Tejada, Sebastián Camacho y José Salazar Harregui, incluso el director Joaquín Velázquez de León le comunicó al presidente el estado de penuria en que el colegio y la Escuela Práctica de Fresnillo se encontraban.⁷¹ Para mejorar esta situación en 1861 se extinguió el fondo de minería y se ingresó al crédito público con el fin de que "de ninguna manera se entorpezca la enseñanza

Escuela Práctica de Metalurgia y Labores de Minas de Pachuca. AHPM, 1811 I 152; Ramírez S., 1890, *op. cit.*, p. 366 y 411; AGN, vol. 71, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860; AGN, vol. 39, Justicia e Instrucción Pública 1833-1854; AGN, vol. 38, Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854; CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Solicitudes de gastos, caja 13, exp. 1, fo. 1-46; CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 8, exp. 31, fo. 765-768.

⁶⁹ AGN, Justicia e Instrucción Pública, fs. 279-283, 1855-1860.

⁷⁰ AGN, Vol. 71, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860, fo. 407; y Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 411.

En 1855 los alumnos y algunos miembros del periódico *La Patria* propusieron a Salazar Harregui para el cargo de director del colegio. Sin embargo, el Jefe del Poder Ejecutivo nombró a Luis de la Rosa, con lo cual se ganó la inconformidad de los alumnos, al grado de que en la ceremonia de entrega de los premios de fin de año y frente al Presidente de la República los alumnos mediante gritos, palmadas y silbidos impidieron que el director diera lectura a su discurso. José Salazar Harregui (1823-1892) era profesor de topografía y geodesia, y Jefe de la Comisión de Límites entre México y Estados Unidos. Ver AGN, vol. 70, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860, y Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 388.

En 1856 nuevamente se propusieron candidatos para director del colegio durante la presidencia de Ignacio Comonfort. Un periódico de Chihuahua propuso a Salazar Harregui, pidiendo fuera reconocido el trabajo y esfuerzo que realizó en la Comisión de Límites. El Estado de Chihuahua reconoció su labor nombrándolo diputado suplente al Congreso General. Finalmente, Salazar Harregui quedó como subdirector, cargo que se estableció para cubrir las funciones del director en su ausencia, y como director quedó Blas Balcárcel. Asimismo se estableció que el director sería elegido o nombrado por el Supremo Gobierno a partir de la propuesta enviada por la Junta de catedráticos. Ver AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 70, 1855-1869, y Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 391.

⁷¹ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 422, y AGN, vol. 72, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860, fo. 498.

en el Colegio Nacional de Minería, que tan buenos resultados ha dado siempre y que es un plantel tan útil á la República".⁷² La decadencia del colegio se agudizó con la intervención francesa; aunque los profesores y empleados firmaron un Acta de protesta, el colegio y la escuela práctica de minas se cerraron. El colegio se abrió gracias a la intervención del subsecretario de fomento José Salazar Ilarregui, quien le otorgó un presupuesto de 26,730 pesos para iniciar los cursos.⁷³

Durante el imperio de Maximiliano se intentó transformar el colegio en Escuela Politécnica; en protesta, el director Joaquín Velázquez de León renunció a su cargo al igual que mucho profesores. En 1864 el emperador expidió la Ley de Instrucción Pública, en la cual se establecía oficialmente la Escuela Politécnica para la formación de los ingenieros mecánicos, topógrafos y civiles.⁷⁴

Algunos meses antes de caer el imperio de Maximiliano, los padres y tutores de los alumnos internos decidieron trasladar a sus hijos a sus casas por la escasez de comestibles y por las inestabilidades que existían en la ciudad de México. Esto llevó nuevamente a la clausura del colegio el 20 de junio de 1867, un día después que el emperador Maximiliano fuera fusilado. El 21 de junio el edificio del colegio fue ocupado como cuartel por el Ejército Sitiador y fue desocupado dos días después a petición del prefecto de estudios Santiago Ramírez; sin embargo, tres días más tarde volvió a ser ocupado por un Cuerpo del Ejército Republicano y desocupado el 6 de julio. Nueve días más tarde, se recibió en el Salón de Actos con un banquete al presidente Benito Juárez y al general en jefe del ejército republicano Porfirio Díaz, entre otros.⁷⁵ Durante este régimen se llamaron a los profesores que habían sido separados de sus empleos durante el imperio⁷⁶ y el colegio recibió apoyo económico para establecer la Escuela Práctica de Minas de Pachuca, se le autorizó el establecimiento de un laboratorio metalúrgico, adquisición de muebles, instrumentos, útiles,

⁷² Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 426.

⁷³ *Ibid.*, p. 436.

⁷⁴ *Ibid.*, p. 460.

⁷⁵ *Ibid.*, pp. 482-484.

⁷⁶ CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y de asistencia, caja 14, exp. 1, fo. 1-2.

etc.⁷⁷ Así también, el ministro de justicia e instrucción pública Antonio Martínez de Castro informó que los ingenieros y demás egresados que se recibieron durante el Imperio, deberían revalidar sus títulos para ejercer legalmente sus respectivas profesiones.⁷⁸ Del mismo modo decretó que todas las empresas de ferrocarriles tenían la obligación de recibir a los alumnos de las escuelas nacionales de la carrera de ingeniero en minas para que hicieran sus prácticas en sus instalaciones.⁷⁹

1.4. La Escuela Especial de Ingenieros

Apenas establecido el régimen republicano, el gobierno de Juárez promulgó el 2 de diciembre de 1867 la Ley Orgánica de Instrucción Pública, la cual fue elaborada por Gabino Barrera, José Díaz Covarrubias, Francisco Díaz Covarrubias, Pedro Contreras Elizalde e Ignacio Alvarado, entre otros. Esta Ley, modificada en 1869, "se preocupaba por planear íntegramente la educación desde la primaria, hasta las más altas instituciones científicas culturales o profesionales", y se pretendía "dar una orientación trascendente a la educación, imprimiéndole un contenido científico, y establecer un método".⁸⁰ Se promulgaba una educación primaria obligatoria y gratuita. Se fundaron formalmente, además, el Observatorio Astronómico Nacional y la Academia Nacional de Ciencias y Literatura, se restableció el Jardín Botánico y se reorganizó la Biblioteca Nacional.⁸¹ De igual manera se promovió el establecimiento y reorganización de diversas Escuelas, como la Escuela Nacional Preparatoria y la Escuela Especial de Ingenieros (nombre que adoptó el Colegio de Minería a partir de 1868). Esta última impartiría las carreras de ingeniero de minas, de

⁷⁷ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 27, exp. 5, fo. 40-54.

⁷⁸ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 485.

⁷⁹ El Ministerio de Instrucción se encargaría de seleccionar a los estudiantes, de costear sus alimentos y de recibir noticia de su comportamiento y desempeño de sus prácticas. Ver CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 2, exp. 3, fo. 29-35.

⁸⁰ Ortega, F., *Política educativa de México*, Editorial Progreso, S. A., México, 1967, p. 152.

⁸¹ Gortari, E., *La ciencia en la Historia de México*, Editorial Grijalbo, S. A., México, 1980, pp. 299-300.

ingeniero mecánico, de ingeniero civil, de ingeniero topógrafo e hidromensor y la de ingeniero geógrafo e hidrógrafo.¹²

Toda esta reestructuración que se llevó a cabo en el ámbito educativo se realizó bajo la concepción filosófica del positivismo, impulsada por Gabino Barreda (1818-1881). La teoría del positivismo comtiano sostiene que la humanidad ha progresado y ha atravesado por tres grandes etapas que explica a través de la ley de los tres estados: *el estado teológico*, donde el hombre recurre a imaginarias divinidades para explicar los fenómenos naturales; *el estado metafísico*, donde se sustituyen las divinidades por entidades abstractas como sustancia y causalidad, entre otras; finalmente aparece el *estado positivo*, donde la explicación de los fenómenos tiene lugar a través de métodos científicos como la observación y la experimentación y busca descubrir las leyes que los rigen.¹³ En el ámbito de la educación Comte propuso un sistema de educación donde se enseñara de una manera evolutiva similar a la de los tres estados. Durante la primera etapa el aprendizaje no tendría un carácter formal y sistemático, se impartiría lengua y literatura, música, dibujo e idiomas extranjeros. En un segundo periodo se iniciaría el estudio formal de las ciencias en el siguiente orden primero matemáticas y astronomía, física y química, para después pasar a la biología y sociología.¹⁴ Es así como en la filosofía positiva de Comte se encuentra una jerarquización de las ciencias, en la base se tiene a las matemáticas y en la cima a la sociología.¹⁵

En opinión de Zea, el positivismo se introdujo como "una doctrina importada a México para servir directamente a un determinado grupo político, o para servir de instrumento a un determinado grupo social en pugna con otros grupos".¹⁶ A través del

¹² Fernández, J., *El Palacio de Minería*, Instituto de Investigaciones Estéticas, 1951, p. 43.

¹³ De hecho consideraba que la perfección de la filosofía positiva se alcanzaría "al poder representar todos los fenómenos bajo un solo hecho general". Más aún, a través de la ciencia positiva el hombre podría incrementar su poder sobre la naturaleza, al aumentar el dominio racional a expensas del dominio experimental. Por ciencia entiende el conjunto de leyes que rigen las relaciones de un objeto preciso con los demás. Ver Comte, A., *La filosofía positiva*, Editorial Porrúa, S. A., México, 1979, p. XXXVII y XXXVIII.

¹⁴ *Ibid.*, p. XLVIII.

¹⁵ Meneses Morales, E., *Tendencias educativas oficiales en México 1821-1911*, Editorial Porrúa, S. A., México, 1983, p. 28.

¹⁶ Zea, L., *El positivismo en México, nacimiento, apogeo y decadencia*, Fondo de Cultura Económica, México, 1981, p. 28.

positivismo se le reducía poder al clero, que constantemente se oponía a los intereses de los liberales, porque "el orden predicado por el clero, no era el orden que correspondía a la etapa de progreso en que la humanidad se encontraba. Era menester el orden, pero este orden tenía que ser el que los positivistas llamaban positivo".⁸⁷ Las doctrinas que sustituirían a las sostenidas por el clero católico serían las positivas, y conforme a éstas se educaría a los mexicanos. "Por medio de ellas se eliminaría el desorden provocado por una clase que no quería reconocer que su misión había terminado. Los hombres educados en esta doctrina tomarían el poder e implantarían el nuevo orden en todos los campos".⁸⁸

Barreda consideraba que la educación positivista era un medio seguro para perpetuar la paz e implementar un orden "fecundo, fundamento y garantía del progreso". El principio del orden sería la base de la reconstrucción del país, adoptando como lema: libertad, orden y progreso. La libertad se entendía como la "marcha progresiva y ordenada de la sociedad".⁸⁹

En particular, los cursos de la Escuela Nacional Preparatoria se organizaron en un orden que iba de lo simple a lo complejo, como lo establecía la filosofía positivista. El orden consistía en empezar por las matemáticas en sus temas más simples como la aritmética, después el álgebra, la geometría, la trigonometría, el cálculo diferencial e integral, hasta mecánica racional; posteriormente cosmografía, física, química, botánica, zoología; los idiomas se intercalaban. Se sustituyeron las materias religiosas por las basadas en el método experimental.⁹⁰ Esta escuela se creó con la finalidad de uniformar científicamente la instrucción preparatoria común a todas las carreras profesionales.⁹¹ La relación que se estableció entre ésta y la Escuela Especial de Ingenieros fue interpretada de diversas maneras. Por ejemplo, el ingeniero Tamayo opinó que el Colegio de Minería dejó de ser el refugio del conocimiento científico y terminó su función cultural para iniciar "una

⁸⁷ *Ibid.*, p. 66.

⁸⁸ *Ibidem.*

⁸⁹ Meneses Morales, E., *op. cit.*, p. 55.

⁹⁰ Gortari, E., *op. cit.*, p. 303-304.

⁹¹ Gómez Navas, L., *op. cit.* p. 63.

era de franca especialización profesional, dentro de un marco de coordinación cultural. La Preparatoria forjaría al hombre; la Escuela Superior le daría armas para servir a sus semejantes".⁹² El ingeniero Santiago Ramírez dijo que al quitar los cursos preparatorios de la carrera de minero y pasarlos a la Escuela Preparatoria se modificó "tan profundamente su organización, que quedó ésta destruida; y al acumular en su programa de Estudios los profesionales para todas las carreras del Ingeniero, perdió su carácter de Colegio de Minería, perdiendo con este carácter hasta su nombre".⁹³ Por otra parte, el ingeniero Agustín Aragón opinó que "una revolución no en las ideas, sino en la práctica de la enseñanza, se inició en México al comenzar el año de 1868, por la aceptación brusca del método científico como la base de la instrucción pública para satisfacer a las múltiples necesidades de la vida social de la época".⁹⁴

1.5. La Escuela Nacional de Ingenieros

Durante el régimen de Manuel González la Escuela de Ingenieros sufrió algunos cambios que la beneficiaron. La educación técnica de la Escuela de Ingenieros se vio favorecida al cambiar su dependencia del Ministerio de Justicia e Instrucción Pública al de Fomento en 1881, debido a que pasaba a formar parte de una de las Secretarías más importantes; esto le permitió aumentar su presupuesto de 37,120 en 1880 a 107,000 pesos en 1881.⁹⁵ En 1883, con las reformas a la Ley de Instrucción Pública, la Escuela Especial de Ingenieros se transformó en Escuela Nacional de Ingenieros, a la cual sólo podían ingresar aquellos alumnos que presentaran el certificado de la Escuela Nacional Preparatoria o haber cursado determinadas materias. Las clases que se impartían en la Escuela tenían carácter de

⁹² Tamayo, J. L., *op. cit.* p. 17.

⁹³ Ramírez, S., 1890, *op. cit.* p. 491.

⁹⁴ Tamayo, J. L., *op. cit.* p. 15.

⁹⁵ El Ministerio de Fomento se encargaba de fomentar el establecimiento y la protección de nuevas industrias e impulsar la tecnología en la agricultura y la minería. En 1891 la Escuela de Ingenieros volvió a quedar adscrita a la Secretaría de Justicia e Instrucción Pública. Ver Bazant, M., "La enseñanza y la práctica de la ingeniería durante el Porfiriato", *La educación en la historia de México*, El Colegio de México, 1992; CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 35, fo. 290 bis; CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 2, exp. 13, fo. 88-199.

públicas y gratuitas, de esta manera podían asistir a los cursos las personas que así lo desearan. Se estableció también la Hacienda-Escuela de enseñanza práctica, y se crearon tres especialidades más: la de caminos, puertos y canales, la de telegrafista y la de ingeniero industrial.⁹⁶ Este fue también el año en que se planeó la instalación del alumbrado eléctrico en el edificio.⁹⁷

El porfiriato continuó promoviendo la filosofía positivista con un "progresivo énfasis en el método".⁹⁸ Para Zea, el orden también se convirtió en un factor importante para Díaz porque podría afianzar y mantener el poder que había obtenido. De hecho, el mismo autor considera a Porfirio Díaz representante de la era industrial, promotor del llamado progreso industrial con la idea de obtener el orden social.⁹⁹ El incipiente desarrollo industrial, agrícola, ganadero, forestal y minero daban una imagen de una marcha acelerada hacia el progreso; ésto y la paz alcanzada alentaban las inversiones extranjeras.¹⁰⁰

Con el tiempo, y durante el porfiriato, se empezó a formar un nuevo partido político que pretendía vincular los principios del orden derivado de la investigación científica con la sociedad. Este partido se llamó de "los científicos".¹⁰¹ Dentro de este grupo se encontraban algunos egresados de la Escuela Nacional Preparatoria y catedráticos de la Escuela de Ingenieros como Eduardo Garay y Joaquín Casasús, profesores de los cursos de mecánica analítica y aplicada y de economía política, respectivamente.¹⁰²

Joaquín Baranda, Ministro de Justicia e Instrucción Pública, consideraba la educación como un factor imprescindible en el progreso y bienestar de los hombres. Por ello, convocó a un Primer Congreso de Instrucción que tuvo lugar del 1 de diciembre de

⁹⁶ CESU, ENI, Correspondencia, caja 2, exp. 18, fo. 131-142.

⁹⁷ CESU, ENI, Administrativo, Solicitudes Externas, caja 16, exp. 18, fo. 101-107.

⁹⁸ Beller, W., Méndez, B., Ramírez, S., *El positivismo mexicano*, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México, 1977, p. 127.

⁹⁹ Zea, L., *op. cit.*, p. 47 y 288.

¹⁰⁰ Alvarez Barret, L., "Justo Sierra y la obra educativa del Porfiriato, 1901-1911", *Historia de la Educación Pública en México*, SEP/80, FCE, México, 1982, pp. 83-115.

¹⁰¹ *Ibidem*.

¹⁰² Beller, W., et al., *op. cit.*, p. 37.

Eduardo Garay, incluso, llegó a ser senador. Moles, A., López S., *Paterales mexicanas de la segunda mitad del siglo XIX*, Sociedad de exalumnos de la Facultad de Ingeniería, UNAM, 1988, p. 8-4.

1889 al 31 de marzo de 1890. En este Congreso se trataron temas de enseñanza primaria, secundaria y preparatoria; y como no se alcanzaron a discutir y resolver algunas cuestiones, se convocó a un Segundo Congreso que tuvo lugar del 1 de diciembre de 1890 al 28 de febrero de 1891, donde se discutieron aspectos de enseñanza normal, preparatoria y profesional, entre otros. En lo que se refiere a la Escuela Nacional de Ingenieros, se reformaron sus planes de estudio a través de la Ley de Enseñanza Profesional de la Escuela Nacional de Ingenieros del 15 de septiembre de 1897.¹⁰³ Aún después de esta reforma, se continuaron elaborando propuestas con el fin de mejorar la calidad de la enseñanza en el Colegio de Ingenieros.

Como la Escuela de Ingenieros dependió durante la mayor parte del siglo XIX del Estado, compartió con éste sus inestabilidades, sus progresos, sus fracasos y sus anhelos. A finales del siglo XIX cuando el país adquirió un largo periodo de paz, esta institución educativa se integró a los proyectos de desarrollo de la nación; por ejemplo, en el afán de industrializar al país, se crearon carreras nuevas para apoyar este sector, como fueron las ingenierías mecánica, eléctrica e industrial. Con el interés de mejorar los medios de comunicación y aumentar las obras públicas se creó la carrera de ingeniero civil, siempre auxiliado del ingeniero topógrafo, y para mejorar la explotación de los minerales se perfeccionaron las carreras de ingeniero de minas, ensayador y beneficiador de metales.

Así como la escuela se reestructuró en función de los proyectos nacionales de modernización, de la misma manera sufrió las consecuencias de las políticas económicas gubernamentales. El que el Estado decidiera incorporar a la inversión extranjera como una variable vital para el desarrollo de la economía generó una competencia desleal entre los ingenieros extranjeros y los mexicanos, porque además de que las máquinas las construían los ingenieros y técnicos extranjeros en sus países, al ser importadas al nuestro se contrataban generalmente extranjeros para instalarlas y repararlas. Esto causó que carreras

¹⁰³ Aguilar y Pérez, J., *Política educativa al servicio de México. Análisis ontológico del pensamiento educativo mexicano*, Tesis que se presentó para obtener el título de licenciado en Ciencias Políticas, UNAM, 1963, pp. 126-130. Además, CESU, ENI, Asuntos escolares. Calificaciones y exámenes, caja 25, exp. 39, fo. 189-227.

como la de ingeniero industrial y electricista no contaran con un campo de trabajo y, por lo tanto, hubiera poco interés por parte de los estudiantes por estudiarlas. Estos fueron algunos de los problemas que tuvo que enfrentar la escuela a finales del siglo XIX, y cuya solución no se vislumbraba tan sencilla como veremos más adelante.

II. LOS INGENIEROS EGRESADOS DEL COLEGIO ANTE LA FORMACIÓN DE UNA NACIÓN

2.1 La función social de los ingenieros

La Revolución Industrial que se inició en Inglaterra en el siglo XVIII y que posteriormente se expandió a otros países, transformó la vida del hombre occidental y sus relaciones con el resto del mundo. La sustitución del trabajo humano por energía mecánica condujo a la sustitución de la economía agraria y artesanal por otra dominada por la industria y la manufactura mecanizada. El avance tecnológico, que tuvo lugar durante el siglo XIX, permitió no sólo producir más y más rápido, sino que, además, se empezaron a elaborar manufacturas que jamás hubiesen existido con el uso de las técnicas tradicionales, como la cámara fotográfica, la radio, el telégrafo, los colorantes, etc. De manera similar, las sociedades que se vieron influidas por el deseo de adquirir un progreso económico vía la industrialización sufrieron cambios económicos, sociales, políticos y culturales.¹ Por ejemplo, las aplicaciones de la electricidad en la industria transformaron la vida de las sociedades donde esto tuvo lugar.

Antes, durante, y aún poco tiempo después de la Revolución Industrial, los avances de la tecnología poco tuvieron que ver con la aplicación de la ciencia; no obstante, a partir del siglo XIX las grandes contribuciones de la ciencia generaron grandes innovaciones tecnológicas. La ciencia fue creando un espacio social que la condujo a ser considerada como un soporte indispensable de la economía, de aquí que se realizaran esfuerzos por fundar instituciones tanto para su desarrollo como para el de la tecnología. Con el proceso de institucionalización de la ciencia en el siglo XIX, se dio pie a la creación de diversos centros de investigación, tanto universitarios como industriales. Las disciplinas científicas adquirieron personalidad propia; aparecieron la física, la química, la geología y la

¹ Landes, D. S., *Progreso Tecnológico y Revolución Industrial*, Editorial Tecnos, Madrid, 1979, pp. 15-27.

fisiología, entre otras, dando lugar al surgimiento de los especialistas y de las especialidades. De igual forma se fundaron nuevas escuelas tecnológicas superiores, así como universidades, donde la investigación se convirtió en una actividad cotidiana. El investigador aislado fue gradualmente sustituido por el científico institucionalizado, que contaba para su actividad con bibliotecas, laboratorios, ayudantes y colegas con quien interactuar.² Simultáneamente surgieron empresarios científicos individuales o grupos de científicos con tendencias políticas, además de los administradores y políticos cotidianos.³

Cada país se distinguió por establecer su propia política científica. Por ejemplo, en Inglaterra la investigación y el quehacer tecnológico se habían convertido en actividades propias de las universidades o de los industriales, y se crearon los primeros institutos orientados explícitamente a la enseñanza técnica vinculados con la industria. Mientras que en otros, como fue el caso de Alemania, la ciencia y la tecnología se habían convertido en un asunto del Estado, el cual se encargó de su organización, creando durante las primeras décadas el Instituto Industrial y los establecimientos orientados a la enseñanza de las diversas técnicas asociadas con la ingeniería y la industria.⁴ En Francia, Napoleón Bonaparte se convirtió en el primer gobernante que se preocupó de promover la ciencia a través de la educación con fines utilitarios que le dieran apoyo a su régimen y a sus ejércitos. Para ello fundó la *École Normale Supérieure*, la *École de Médecine* y la *École Polytechnique*. Esta última se convirtió en un modelo para las instituciones de enseñanza y de investigación científica siendo, la selección de los maestros rigurosa y seleccionándose tan sólo a los más eminentes; así se inició la sustitución del científico aficionado, acomodado o patrocinado por algún magnate, por el profesor científico asalariado.⁵

La ciencia durante el siglo XIX fue adquiriendo tal jerarquía social, que se le consideró como el soporte indispensable de la economía. Su intervención, al igual que la de

² Machado-Allison, C. E., *La Herencia Tecnológica*, Instituto de Ingeniería, Caracas, Venezuela, 1989, p. 203-213.

³ Ben-David, J., *El Perfil de los Científicos en la Sociedad*, Editorial Trillas, 1974, p. 133.

⁴ *Ibid.*, p. 217.

⁵ Bernal, J. D., *op. cit.*, 1986, pp. 514-515.

la tecnología, en el ámbito industrial trajo como consecuencia un crecimiento en la producción sin precedentes que en poco tiempo exigió el apoyo de profesionales debidamente capacitados en conocimientos científico-técnicos. Fue así como se desarrolló y especializó el Ingeniero, un profesionista que dejaba atrás al artesano, que sin instrucción y con un saber empírico resolvía problemas técnicos, para convertirse en un individuo que contaba con una formación sólida en ciencia básica, especialmente en física y matemáticas.

El ingeniero del siglo XIX tuvo un papel social bastante destacado, pues no sólo participó en la construcción de diversas obras públicas y en la innovación de diversos dispositivos tecnológicos, sino que además realizó contribuciones importantes en la ciencia, especialmente en el área de la física, disciplina que se ha caracterizado por poseer una estrecha relación con las actividades industriales. De hecho, en la Escuela Politécnica de París, creada para dar entrenamiento científico a los ingenieros militares y para promover el desarrollo industrial, se produjeron contribuciones científicas de la más alta calidad,⁶ destacando físicos, químicos y matemáticos como Dominique F. J. Arago (1783-1853), Jean Baptiste Biot (1774-1862), Augustin-Louis Cauchy (1798-1857), J. B. Joseph Fourier (1768-1830), Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), Joseph L. Gay-Lussac (1778-1850), Joseph Liouville (1809-1882), Alexis T. Petit (1791-1820), Denis Poisson (1781-1840), y N. L. Sadi Carnot (1796-1832), entre otros.⁷ Por mencionar un ejemplo de contribuciones que hicieron los ingenieros al desarrollo de la física, destaca el de Wilhelm Konrad Roetgen (1845-1923), quien estudió ingeniería mecánica en Alemania y descubrió y aplicó los rayos X cuya investigación que lo hizo acreedor del primer premio Nobel de Física, en 1901.⁸

Durante el siglo XIX, en física se dieron avances muy importantes en la mecánica, el calor, la luz, la electricidad y el magnetismo⁹ que modificaron no sólo la concepción

⁶ Saldaña, J. J., *La notion de Revolution Scientifique: le cas de l'introduction des conceptions ondulatoires dans l'optique du debut du XIX^eme siecle*, Tesis presentada para obtener el grado de doctor en la Universidad de Paris I (Pantheon-Sorbonne), Francia, 1980, pp. 119-121.

⁷ Eckert, M., Schubert, H., *Crystals, electrons, transistors*, American Institute of Physics, Institute of Physics, New York, USA, 1990.

⁸ Klein, H. A., *The science of measurement, a historical survey*, Dover Publications, Inc., New York, 1988, pp. 652-667.

⁹ Maksabedián, J., *El método de la física*, Instituto Politécnico Nacional, México, 1982, p. 51.

clásica de la física (al sentarse las bases para el nacimiento de la mecánica estadística, la mecánica cuántica, la física relativista y la física nuclear), sino que provocó una revolución tecnológica sin precedentes al incorporar estas contribuciones en campos como el de la comunicación y el sector industrial, generando un cambio en la vida de la sociedad, al tener que convivir con nuevos medios de comunicación (telégrafo y teléfono), de transportes (ferrocarril, barco de vapor y el automóvil), el uso de nuevas fuentes de energía como la eléctrica, y los avances que en medicina se produjeron gracias al descubrimiento de los rayos X.

Con la formulación de James Clerk Maxwell (1831-1879) de la teoría electromagnética de la luz se logró sintetizar en una sola teoría general las contribuciones que realizaron destacados científicos en diversos campos de la física, especialmente en electricidad, magnetismo, óptica y calor. Hubo un momento en el que se consideró a la ciencia de la física como terminada ya que esta teoría y las leyes de la mecánica newtoniana parecían explicar todos los fenómenos naturales existentes. Sin embargo, al final de esa centuria se encontraron otros fenómenos que no se pudieron explicar con estas teorías y que dieron lugar a la física del microcosmos. Por mencionar algunos ejemplos, el auge que tuvo la teoría ondulatoria llegó a sus límites al enfrentarse a fenómenos que sólo podían explicarse con la teoría corpuscular, propuesta por Newton siglos atrás, dando origen a la llamada *cuántica*,¹⁰ misma que se fortaleció con los trabajos del alemán Max Planck (1858-1947), quién sintetizó también en una fórmula empírica varios resultados teóricos y experimentales relacionados con la radiación del cuerpo negro, para lo cual incorporó el concepto de *quantum* para indicar la cantidad de energía que podían absorber o emitir los átomos que se comportaban como osciladores electromagnéticos.¹¹ Los estudios de Clausius, Maxwell, Boltzmann y Gibbs sobre el "calórico", la temperatura y el movimiento de las moléculas, dieron origen a una de las herramientas más importantes de la física teórica: la *mecánica estadística*. Una nueva trayectoria tomaría la física al iniciarse los

¹⁰ Esto no significa que se dejó de utilizar la teoría ondulatoria, al contrario, ha prevalecido hasta nuestros días combinada con la teoría corpuscular porque explica muy bien el comportamiento de la luz.

¹¹ Flores, A., Domínguez, A., Il. A., *Pioneros de la física*. Editorial Trillas, S. A., México, 1988, p. 62.

experimentos relacionados con el paso de una corriente eléctrica a través de los gases, descubriéndose un nuevo tipo de radiación llamada los rayos X, una nueva propiedad de la materia que recibió el nombre de *radiactividad*, los rayos alfa, beta y gama, además de la existencia de una nueva partícula llamada *electrón*.¹²

Las implicaciones de los descubrimientos realizados en la física durante el siglo XIX son enormes, entre ellas se pueden mencionar las siguientes: Maxwell al desarrollar su famosa teoría electromagnética de la luz, demostró que la luz es un fenómeno electromagnético y predijo la existencia de otros tipos de ondas electromagnéticas, cuya existencia demostró Enrique Hertz (1857-1894) en Alemania donde efectuó transmisiones a corta distancia en 1888, nueve años después el ruso Popov inventó la antena y efectuó transmisiones a cinco kilómetros, y fue hasta 1901 que el italiano Guillermo Marconi (1874-1937) hizo la primera transmisión transatlántica, posteriormente las aplicaciones se ampliaron al uso de la radio y de la televisión, del teléfono inalámbrico, de las comunicaciones de microondas y a través de satélites.¹³ El descubrimiento de Michael Faraday (1791-1867) sobre el principio básico del dínamo permitió suministrar energía a la industria del galvanizado y para suministrar energía eléctrica.¹⁴ Las aportaciones de Juan Cristian Oersted (1777-1851) al electromagnetismo¹⁵ permitieron la invención de un electroimán del cual se derivó la construcción del telégrafo eléctrico y el motor eléctrico, con este último se hizo posible el desarrollo de la industria automovilística y de la aviación.¹⁶ Las aplicaciones de la electricidad (producto de los estudios de los experimentos electromagnéticos) rápidamente repercutieron en la vida económica, como en las comunicaciones, en la iluminación (elaboración de focos, lámparas y transformadores de alto voltaje), en el telégrafo sin hilos y teléfono, en la fuerza motriz para los transportes y la

¹² *Ibidem.*, p. 57.

¹³ Se demostró que las ondas de radio, las microondas, los rayos X y la radiación gamma también son ondas electromagnéticas. Ver Alba Andrade, F., *El desarrollo de la tecnología, la aportación de la física*, Fondo de Cultura Económica, SEP, México, 1987, p. 96, 111 y 146.

¹⁴ Mason, S., *Historia de las Ciencias 4. La ciencia del siglo XIX*, Alianza Editorial, México, 1988, p. 118 y 160.

¹⁵ Oersted descubrió en 1820 que una corriente eléctrica genera a su alrededor un campo magnético capaz de detectarse por la presencia de una brújula.

¹⁶ La telegrafía eléctrica fue un invento de gran importancia militar, política y social, mientras que el motor eléctrico que convierte energía eléctrica en trabajo mecánico, se convirtió en la base de la ingeniería eléctrica moderna. Ver Hull L., W. H., *Historia y filosofía de la ciencia*, Ediciones Ariel, Barcelona, 1970, p. 326.

maquinaria, entre otras. En opinión de Bernal la electricidad fue la primera que pudo crear por sí misma una industria independiente, al grado de ser el primer ejemplo de un conjunto puramente científico de experimentos y teorías que se transformó en una industria a gran escala.¹⁷ El usar energía eléctrica tenía la gran ventaja que cualquier otra forma de energía se podía transformar en eléctrica.¹⁸ Los fundamentos del electromagnetismo impulsaron varios inventos que contribuyeron al avance de la electrónica, como la invención del bulbo o tubo electrónico, el transistor (para amplificar señales), el rectificador y el triodo entre otros, con lo cual se revolucionaron las técnicas de transmisión de señales (radio y televisión) y de las computadoras, por mencionar solo algunas de sus aplicaciones.¹⁹

La termodinámica, a diferencia de otras áreas de la física, en un principio se benefició de la investigación de problemas de ingeniería, en parte por el estudio de la máquina de vapor.²⁰ Las aplicaciones más relevantes de la termodinámica se enfocaron al desarrollo de las máquinas de calor que actuaban directamente y que generaban energía mecánica a partir del calor, en especial las máquinas de combustión interna y la turbina de vapor. En esta última, la termodinámica se usaba para su diseño dado que las velocidades de los ejes de las turbinas eran importantes para hacer funcionar los generadores eléctricos. A finales del siglo XIX la termodinámica se aplicó también en la producción de los refrigeradores.²¹ Desde el punto de vista de Trubse la aplicación de la ciencia al desarrollo industrial tuvo lugar gracias al apoyo que las sociedades occidentales -en particular de la burguesía ya que era el grupo más beneficiado- dieron a la empresa científica, y que produjo una vinculación entre ciencia e industria que se fortalecería en el siglo siguiente.²²

¹⁷ Bernal, J., *La ciencia en la historia*, Editorial Nueva Imagen, UNAM, 1979, p. 588 y 591.

¹⁸ Por ejemplo, la energía mecánica, la energía química, la energía radiante, del calor e incluso la energía nuclear se pueden transformar en energía eléctrica. Ver Alba Andrade, F., *op. cit.*, p. 144.

¹⁹ Forbes, R. J., *Historia de la tecnología*, Fondo de Cultura Económica, México, 1958, p. 320.

²⁰ La termodinámica surgió cuando los ingenieros de la revolución industrial trataban de resolver el problema de como conseguir la máxima eficiencia de una máquina, esto los llevó a interesarse por medir la cantidad de trabajo que podía obtenerse exactamente de una cantidad de calor dada. Ver Hull L., W. H., *op. cit.*, p. 337.

²¹ Mason, S., *op. cit.*, pp. 154-157.

²² Trubse, E., *La ciencia en el siglo XIX*, Fondo de Cultura Económica, Biblioteca Joven, 1987, p. 8.

El impacto de la física llegó hasta el ámbito de lo social. Un ejemplo lo podemos ver en Augusto Comte quien extrajo de ésta su método de estudio para explicar, de una manera similar, el comportamiento y la evolución de la sociedad.²³

México no quedó fuera de esta dinámica de cambios en torno a la ciencia y la tecnología, aunque su desenvolvimiento no adquirió las mismas dimensiones que en Europa y en los Estados Unidos. Saldaña ha constatado cómo, desde la promulgación de la Constitución de 1814, la ciencia y el Estado guardaron una estrecha relación debido a que los gobernantes buscaban dirigir con “la razón” y “la ciencia”. Las políticas públicas de ciencia y tecnología que tuvieron lugar en el siglo XIX, fueron decisivas tanto para el desarrollo de la actividad científica como para la legitimación misma del Estado, el cual se constituyó y se desarrolló animado por una visión de la ciencia que le asignaba tareas a su interior mismo.²⁴ En la Constitución de 1824 se estableció que era facultad del Congreso General promover la ilustración a partir del establecimiento de colegios de marina, artillería e ingeniería; la fundación de uno o más establecimientos donde se enseñaran las ciencias naturales y exactas, entre otras; y el asegurar por tiempo limitado derechos exclusivos a los autores por sus respectivas obras.²⁵

En el capítulo anterior se vio como la institucionalización de la ciencia en México tuvo lugar mediante el Colegio de Minería. Mientras en México este proceso se llevaba a cabo en el ámbito de la minería, en varios países europeos se efectuó también en colegios navales y militares. Hasta que México alcanzó su independencia, reconoció la importancia de extender la institucionalización de la ciencia en estos dos últimos aspectos; de aquí que en la Constitución de 1824 se estableciera la enseñanza de la ciencia también en colegios de marina y artillería.

²³ Comte, A., *La Física Social*, Biblioteca Aguilar de Iniciación Política, Madrid, 1981.

²⁴ Saldaña, J. J., “La Ciencia y el Leviatán Mexicano”, en *Actas de la Sociedad Mexicana de la Historia de la Ciencia y de la Tecnología*, vol. 1 (1989), pp. 37-52.

²⁵ Gómez Navas, L., *op. cit.*, pp. 42-43.

Saldaña²⁶ ha mostrado como nuestro país desde antes de alcanzar su independencia de España se vio influido por las políticas científicas francesas. En particular, al término de la independencia y al establecerse la república, la ciencia -al igual que en Francia- jugó un papel en la concepción del Estado, a la vez que éste mantuvo una actitud favorable en la promoción de la actividad científica, al grado de tomarla en cuenta en las políticas gubernamentales. Los modelos institucionales franceses se adoptaron al crearse los Institutos Científicos Literarios, las sociedades y expediciones científicas, y las instituciones de investigación, entre otros establecimientos. Empero, como la situación económica y la estabilidad política no fue la misma, en México no se obtuvieron los mismos resultados que en Francia (como se verá más adelante).

De hecho, el Colegio de Minería aunque se creó dos años antes que la Escuela Politécnica de Francia, durante el siglo XIX se vio parcialmente influido por esta escuela. Se crearon carreras similares, se utilizaban algunos de los libros de texto que se usaban en esta escuela para la enseñanza en algunas cátedras, muchos de los instrumentos que conformaban los laboratorios fueron traídos de París, etcétera. Sin embargo, en lo que se refiere al desarrollo de la investigación científica, ésta se dejó de lado. Parte del propósito de la presente investigación consiste en buscar la explicación de este hecho.

El Colegio de Minería fue incorporado a las políticas científicas de principios del siglo XIX. Después de formar parte del gremio de los mineros pasó a manos del Estado, lo que abrió la posibilidad al surgimiento de nuevas profesiones que no necesariamente estuvieran ligadas con la minería y sí vinculadas con proyectos gubernamentales. Los lazos que se establecieron entre los ingenieros y el Estado los benefició a ambos. Los ingenieros se beneficiaron con la creación de una sociedad científica que los integraba como comunidad; de una publicación periódica, que los promovía socialmente; y, con la creación de establecimientos como el Observatorio Astronómico Nacional (1863) y el Instituto Geológico de México (1891), lo que les abría mayores perspectivas de empleo y de

²⁶ Saldaña, J. J., "Science et pouvoir au XIXe siècle. La France et le Mexique en perspective", *Science and Empires*, P. Petitjean et al. (eds.), Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, 1992, pp. 153-164.

realizaciones tanto profesionales como personales. A su vez, el Estado también se benefició al recibir apoyo técnico-científico que le permitía resolver problemas de gran magnitud, como el desagüe de las minas y de algunas ciudades, delimitación de territorios, explotación de recursos naturales, etc. Para facilitar la organización política, económica y administrativa del país algunos de los ingenieros se integraron al aparato burocrático del gobierno y se convirtieron en asesores científicos.

Con el objeto de bosquejar las relaciones que existieron entre el Estado y la comunidad de ingenieros se elaboró un resumen (que se muestra en los cuadros 2.1 y 2.2) de las comisiones que les fueron asignadas a los ingenieros en el siglo XIX y de las iniciativas que llevó a cabo dicha comunidad. Debo mencionar que no es el objetivo de esta investigación buscar la totalidad de las comisiones que se les asignaron, así como tampoco buscar todos los proyectos que surgieron por iniciativa propia de los mismos, es simplemente información que surgió durante la presente investigación y que de ella se derivan algunas observaciones, como la existencia de la ya mencionada relación entre una comunidad de ingenieros y el Estado.

Lo primero que resalta del cuadro 2.1 es que la mayor parte de las comisiones que les fueron asignadas a los ingenieros o, en su caso, alumnos del colegio, provinieron o bien directamente del Presidente de la República, o de alguna Secretaría o Ministerio (como se le solía llamar), o de alguna institución gubernamental. Las comisiones fueron de diversa índole y su carácter dependió del partido en el poder (como veremos a continuación).

Durante la época colonial la actividad primordial de los peritos facultativos era la que se vinculaba con la minería, y de vez en cuando con el levantamiento de planos y de datos estadísticos de la Nueva España. Años después de adquirida la independencia el Colegio de Minería pasó a depender del gobierno, lo que condujo a una gran diversificación en sus actividades y obligó a crear nuevas profesiones, como veremos en el siguiente capítulo. Por ahora, sólo se mencionarán algunas de las misiones que les fueron encomendadas.

CUADRO 2.1. Algunas comisiones que se les asignaron a la comunidad de ingenieros.²⁷

Año	Nombre del Ingeniero	Institución que hizo la petición	Descripción de la comisión
1811	Ramón de Espiñeyra	Virrey	Reconocer las minas del virrey en la isla de Santo Domingo ²⁸
1813	Joaquín Ramírez Rojas		Reconocimiento de la obra del Peñón ²⁹
1813	Alumnos		Que ayuden a levantar los planos del reino ³⁰
1822	T.R. del Moral, J. V. León y J.M. Cortés Gallardo		Participaron en la Academia Militar (que formó Diego García Conde) en la formación de planos topográficos y el reconocimiento estadístico de las diferentes regiones del país. ³¹
1822	Catedráticos del Colegio	Secretario de Hacienda	Decide que las Monedas del Imperio sean reconocidas por los catedráticos de Física, Química y Mineralogía del Seminario de Minería ³²
1823	Domingo Lazo y Juan Mendez	Ministro de Guerra	Reconocimiento del criadero de hierro de Atlixco (Ram 255)
1824	Lucas Alamán, José Bustamante, A. del Río, Manuel Cotero	Ministro de Hacienda	Reglamentar los exámenes de Ensayadores (Ram 256)
1824	José Joaquín de Zárate	Tribunal de Minería	Reconocimiento de los criaderos de azogue de Ajuchitlán y Chilapa (Ram 256)
1824	Tomás Ramón del Moral	Secretaría de Guerra	Establecimiento de un Colegio Militar en el Castillo de Perote
1831	Joaquín Velázquez de León		La dirección de la limpieza de algunos ríos (Ram 295)
1842			Se creó una comisión científica para reconocer las minas descubiertas en el Cerro de las Juntas en el Departamento de Oaxaca ³³
1842	Manuel Tejada y Manuel Herrera	Director del colegio	Supervisión de la ascensión aerostática de Benito León Acosta (Ram 307)
1843	Egresados	Presidente	Explorar y reconocer mediante comisiones científicas los criaderos de cinabrio ³⁴
1843	Alumno Pedro Figozen y algunos capitanes		Inspeccionar las ruinas en el Distrito de Teotitlán, Departamento de Oaxaca ³⁵
1843	Andrés del Río, Manuel Herrera, Tomás R. del Moral	Dirección General de Industria Nacional	Estudio sobre los procedimientos empleados en la fabricación de la porcelana y si en la República se encuentran los materiales para trabajarla (Ram 310)
1843	Ignacio Alcocer	Junta de Fomento y Administrativa de Minería	Reconocimiento de los criaderos de mercurio de Guanajuato (Ram 316)
1844	Rafael Chovell y Patricio Flores		Reconocimiento de los yacimientos hidrargíricos de Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas (Ram 318)
1845	Antonio del Castillo		Resumen de los trabajos que se hicieron sobre el reconocimiento de criaderos de minas de azogue en 1844 bajo la dirección de la Junta de Fomento Administrativo Minería (Ram 320)

²⁷ En muchos de los renglones aparecen entre paréntesis la abreviatura Ram y un número, esto significa que la información se obtuvo del libro de Santiago Ramírez y el número indica el número de la página.

²⁸ AHPM, M.L.99.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1811-1843.

²⁹ AHPM, M.L.291.B. Almacén 1813.

³⁰ AHPM, M.L.99.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1811-1843.

³¹ Rodríguez, L., *op. cit.*, p. 153.

³² AHPM, M.L.102.B

³³ AGN, Vol. 37, Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854.

³⁴ *El Siglo XIX*, 6 octubre 1843.

³⁵ AGN, Vol. 37, Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854.

1845	Tornej (director)	Supremo Gobierno	Marchar al Ejército del Norte ³⁶
1845	Facultativos	Presidente interino	dispone que el examen de las monedas de la Casa de México se practiquen en el establecimiento de Minería (Ram 324)
1848		Presidente de la República	Se nombró la comisión que marcaría los límites entre México y Estados Unidos (Ram 337)
1849	Miembros del Colegio		Auxiliar en lo posible a la Compañía de Minas Zacatecano-Mexicana (Ram 347)
1849	Miguel Velázquez de León	Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística	Estudio sobre el Corte Geológico del Mineral de Fresnillo (Ram 343)
1849	Antonio del Castillo	Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística	Exploración geológica del Norte de Tehuacán y del Cerro del Tlachiaque (Ram 347)
1849	José Salazar Harregui	El Gobierno de México	Lo nombró geómetra de la Comisión para marcar los límites entre México y los Estados Unidos (Ram 340)
1850	Profesores del colegio y otros socios	Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística	Fijar la relación que existe entre el metro francés y la vara mexicana (Ram 348)
1850	Manuel Herrera	Ministro de Relaciones	Análisis del agua, del aire y de la leche para evitar el cólera (Ram 348)
1853	Manuel Castro, Manuel Tejada y Joaquín Mier y Terán	Gobernador de Nuevo León	Medir la velocidad del agua en el Buey (Ram 369)
1855	Francisco Díaz Covarrubias	Ministro de Fomento	Calcular la posición geográfica exacta de la capital, mediante observaciones astronómicas (Ram 391)
1856	Miguel Bustamante	Ministerio de Fomento	Estudio geológico del Valle de México (Ram 394)
1857	Luis Robles Pezuela		Proyecto de un ferrocarril del Bajío al Estado de Guanajuato (Ram 401)
1857	Ignacio Hierro		Análisis de las minas descubiertas en Tamboya (Ram 403)
1859	F. D. Covarrubias		Plano del Valle de México (por terminarlo se separó temporalmente del colegio). ³⁷
1859	Joaquín Mier y Terán, Próspero Goyzueta, Juan Barquera		Dictaminar sobre denuncias a los criaderos de cal y competencia de jurisdicción entre la Diputación de Minería de Pachuca y el Gobernador del Distrito (Ram 415)
1859	Barros, Tejada y Terán	El director y la Junta General	Hacer un apoteosis al Barón de Humboldt (Ram 415)
1861	José Salazar Harregui	Ministro de Fomento	Elaborar un proyecto para hacer el levantamiento de los Estados de Guanajuato y Veracruz (Ram 426)
1861	Francisco Díaz Covarrubias		Visitar los Observatorios Astronómicos de Estados Unidos y comprar instrumentos para la Dirección de Caminos de la que era jefe (Ram 427)
1861	Próspero J. Goyzueta	Ministro de Fomento	Jefe de la Comisión encargada de formar las Cartas Hidrográfica y Geológica del Valle de México (Ram 428)
1861	Agustín Barroso, Ignacio Garfías	Ministro de Fomento	La apertura de un canal entre Tuxpan y Tampico (Ram 426)
1863	F.D. Covarrubias, Pascual Almazán y Fco. Chavero	Ministro de Fomento, Terán	Formar un proyecto de reforma a las medidas legales (Ram 434)
1864	J. V. de León	Presidente de la República	Formar el monumento a la Independencia Nacional (Ram 441)
1865	Ramón Almaraz		Estudiar cinco grandes ahorros de agua que se descubrieron cerca de Ameca (Ram 459)
1865	Joaquín de Mier y Terán	Academia de Ciencias y Literatura	Formar el proyecto de Reglamento en la parte relativa a certámenes literarios (Ram 462)

³⁶ AGN, vol. 38, Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854.

³⁷ AGN, Vol. 71, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860, fs. 440, 445, 471, 499.

1865	Luis Robles Pezuela	Ministro	Expidió el establecimiento del Sistema Métrico-Decimal Francés en todo el país (Ram 460).
1865	Luis Robles P.	Ministro	Construcción de líneas telegráficas (Ram 460)
1865		Ministro de Fomento	Pidió que las orientaciones y medidas de las minas en general, se hicieran con referencia al meridiano astronómico y no al magnético y que se usara el sistema métrico decimal (Ram 452).
1865	Joaquín Velázquez de León		Comisión Diplomática que consistía en visitar al Papa Pío IX, entrevistarse con Monseñor Franchi Subsecretario de Negocios Extranjeros (Ram 452)
1865	Luis Robles Pezuela, Esteban Villalva	El Emperador y la Junta de Ingenieros	Proyecto de desagüe (Ram 461)
1866	Juan C. Barquera	Ministerio de Fomento	Informe sobre el desagüe de la Vega de Metztlán (Ram 469)
1867	Ignacio de la Peña y Ramírez	Ministro de Fomento	Informe General de los trabajos del desagüe (Ram 484)
1867	Fito Rosas	Ministro de Fomento	Dirigir la construcción de una compuerta en el dique de "Collhuacán" para facilitar la navegación por el canal de Chalco (Ram 485)
1867	F. D. Covarrubias	Presidente de la República	Formar una comisión para discutir las condiciones de la ley de instrucción ³⁸
1867	F. D. Covarrubias y otros	Ministro de Justicia	Formar un nuevo plan de estudios (Ram 484)
1867	Ignacio Muphy, Próspero Goyzueta, José Bustamante	Ministro de Fomento	Rendir informe al Secretario de la empresa del gas del alumbrado Samuel B. Knight respecto al estado de las oficinas de extracción (Ram 489)
1867	J.M. Terán, Luis Robles y Manuel Orozco y Berra (no es Ingeniero)	Emperador	Pacificación del país (Ram 479)
1874	Fco. Díaz Covarrubias	El gobierno de México	Observar el paso del planeta Venus frente al disco del Sol. ³⁹
1876	Angel Anguiano		Establecimiento del Observatorio Astronómico de Chapultepec
1889		Secretaría de Fomento	Contingente que asistirá a una exposición internacional en París ⁴⁰
1890	Daniel Palacios		Establecimiento de una Escuela Práctica de Maquinistas

³⁸ Vazquez de Kanauth, J., *op. cit.*, pp. 47-49.

³⁹ Moreno Corral, M. A., *Odisea 1874 o el primer viaje internacional de científicos mexicanos*, SEP, FCE, La ciencia desde México No. 15, México, 1986.

⁴⁰ CESU, ENI, Académico, Convenciones, Exposiciones y estudios, caja 18, exp. 9, fo. 59-60; además exp. 8, fo. 55-58.

Inmediatamente después de la independencia los alumnos y egresados del colegio continuaban con el reconocimiento de minas de hierro, azogue, cinabrio, mercurio, yacimientos hidrargíricos, etc. Asimismo intervinieron en proyectos nuevos, como el de ingresar como profesores en la Academia Militar que en 1822 formó Diego García Conde, participar en el establecimiento de un Colegio Militar en el Castillo de Perote, encargarse del reconocimiento de las monedas para descubrir aquellas que fueran falsas, incluso los exámenes de las monedas de la Casa de México se practicaron en las instalaciones del mismo colegio.⁴¹ Participaron en proyectos de carácter educativo, en la dirección de la limpieza de los ríos, en la inspección de ruinas prehispánicas, en la fabricación de porcelana, etc. En particular, resulta interesante observar que fue la Dirección General de la Industria Nacional la que solicitó un estudio sobre la fabricación de la porcelana, incluyendo un análisis de los materiales y la posibilidad de encontrarlos en la República. Los catedráticos encargados de este estudio fueron: el de química, Manuel Herrera, y el de mineralogía Andrés Manuel del Río.⁴² Como comentamos al principio de este capítulo, la física, la química y las matemáticas se convirtieron en disciplinas básicas para el desarrollo de la tecnología y por lo tanto, de la industria. Por esta razón no es de extrañar que la Dirección General recurriera a solicitar apoyo científico y técnico a químicos y mineralogistas, lo que sí es de extrañar es que esto no fue frecuente, a diferencia de otros países donde estas disciplinas se hicieron indispensables para el desarrollo industrial.

⁴¹ En 1822 el Ministerio de Hacienda comisionó a los catedráticos del Seminario el reconocimiento de las monedas, para llevar a cabo esta acción los profesores solicitaron a la Casa de Moneda un marco arreglado e igual al que ahí se "custodiaba para uniformar los pesos y un tanto de los dinales y sus partes, de los destinados al reconocimiento del peso de las diversas clases de monedas". Asimismo, se les comisionó para examinar a los constructores de pesos y reconocer y analizar monedas falsas. Por esta situación se estableció que los peritos, los ex-alumnos y los alumnos podían solicitar plazas de oficiales en esta actividad, de esta manera los empleos facultativos de las Casas de Moneda y Apartado recaerían exclusivamente en personas que tuvieran conocimientos de física, química y mineralogía. Aparentemente esta actividad se continuó realizando, ya que en 1868 se registró la llegada al colegio de varios útiles e instrumentos para la oficina de ensayo de la Junta Calificadora de Monedas. Llegó un aparato completo de Gay Lussac, reactivos, láminas de plata, matraces, balones, buretas, pipetas, termómetros, aspas, abultos de plomo de ensayo, peróxido de manganeso, probetas, aerómetros, lima, escobetillas, balanzas, lámpara doble corriente, fuelle, capelas, embudos, pesitas de plomo, etc. Ver AHPM, M.L.102.B; CESU, ENI, Correspondencia, caja 2, exp. 4, fo. 36-39; Ramírez, S., *op. cit.*, p. 251.

⁴² También participó Tomás Ramón del Moral, catedrático de delineación, cosmografía, geodesia y uranografía.

En la segunda mitad del siglo XIX se diversificaron aún más sus actividades. Además de realizar las mismas que en las décadas anteriores, ahora se sumaban otras como: la demarcación de los límites entre México y Estados Unidos; poco a poco el establecimiento del sistema métrico decimal francés; la elaboración de proyectos de desagüe (en especial el de la ciudad de México); el establecimiento de nuevas profesiones y escuelas⁴³ (modificaciones de planes de estudios); la pacificación del país; la negociación de la deuda externa en el extranjero; el análisis químico de varios elementos para impedir la propagación de la epidemia del cólera; se incrementaron los estudios de carácter geológico y astronómico;⁴⁴ la formación de cartas hidrográficas y geológicas; participación en congresos y exposiciones tanto de carácter nacional como internacional; incluso la construcción del monumento a la independencia nacional y la expedición de la convocatoria al concurso de la mejor composición del himno nacional, entre otros.

El impulso y desarrollo que observaron los medios de transportes y de comunicaciones en la segunda mitad del siglo XIX, llevó a los ingenieros a incursionar también en este ámbito. Participaron en proyectos relacionados con las vías terrestres, como era la construcción de caminos y de vías ferrocarrileras; en vías marítimas, como la implementación de estructura que facilitara la navegación y mejorara los puertos (la construcción de canales, diques, compuertas, etc.); la construcción de líneas telegráficas y telefónicas, etc.

Con la idea de encontrar algún interés por parte de la comunidad de ingenieros por el cultivo y desarrollo de la ciencia básica, en particular de la física, se empezó a seleccionar información que lejos de considerarse como parte de una comisión, fuese una actividad o investigación realizada por iniciativa propia. Reconozco que hay una gran dificultad en tener los elementos o criterios adecuados para decidir si algo cae dentro del

⁴³ Cuando se fundó la Escuela Nacional Preparatoria se seleccionaron los mejores catedráticos de la Escuela de Ingenieros para impartir las cátedras de matemáticas, física y química. Ver Lemoine, E., *La Escuela Nacional Preparatoria*, México, UNAM, 1995, pp. 50-56.

⁴⁴ Los estudios astronómicos se realizaron para calcular con mayor precisión las posiciones geográficas de algunas ciudades del país.

rubro de comisión o de iniciativa, se necesitaría contar con estudios más profundos que nos permitieran explorar con más detalle ambos campos; en vista de la ausencia de estos estudios me he concretado a clasificar dentro del ámbito de iniciativas todas aquellas actividades, investigaciones o estudios que realizaron los ingenieros y que aparentemente no formaban parte de una obligación.

En el cuadro 2.2 aparece el nombre de los alumnos del colegio y de los ingenieros egresados de éste, así como una breve descripción de las iniciativas que se llevaron a cabo. Los alumnos, por su parte, realizaron estudios de investigación relacionados con el beneficio de diversos minerales; se nota su interés por aplicar la química y la electricidad en el beneficio de los metales y por cultivar la química, ya que algunos de ellos eran miembros de la Sociedad de Químicos Entusiastas que se reunían para intercambiar información científica novedosa, y publicaban en los periódicos que circulaban en la ciudad de México, como *El Siglo XIX* y *El Siglo*.⁴⁵

Los ingenieros efectuaron análisis sobre el agua potable de Querétaro para confirmar si era o no pura, realizaron observaciones astronómicas de eclipses y del paso de Venus por el disco solar, propusieron la creación del Instituto Geológico Nacional, etc. Una observación que llama la atención, es la que se refiere al hecho de que Manuel Herrera, catedrático de química, haya “descubierto” la fotografía al mismo tiempo que Daguerre en París, lo que nos lleva a pensar que Herrera no sólo manejaba los conocimientos científicos al mismo nivel que otras personas en otros países, sino que además contaba con las herramientas, instrumentos y elementos materiales para llevar a cabo sus experimentos.⁴⁶ Aparentemente hubo poco interés por cultivar y desarrollar estudios o investigaciones relacionados con la física, más bien sus inclinaciones estaban dirigidas hacia cuestiones de carácter utilitario, vinculadas, muchas veces, con las necesidades de la nación.

⁴⁵ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 351.

⁴⁶ Se usó la palabra descubrir y no inventar con la idea de conservar el sentido de la nota, que según Ramírez, apareció en 1855. Ver Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 391.

CUADRO 2.2. Algunas actividades que realizaron los ingenieros y alumnos del colegio por iniciativa propia.⁴⁷

Año	Nombre del Ingeniero	Cargo o actividad	Breve descripción de las iniciativas
1810	José Ma. Vargas	Ensayador	Inventó un arte de fundición ⁴⁸
1811			Aparecieron diversos inventos para fundiciones ⁴⁹
1816			Se mencionaban inventos de beneficio ⁵⁰
1850		Alumnos	Algunos eran miembros de la Sociedad de Químicos Entusiastas, se reunían para intercambiar información científica novedosa (Ram 351).
1851	Pascual Arenas	Alumno	Presentó a la Junta Facultativa del colegio una memoria sobre el beneficio de Tinajas y Solución establecido en la Hacienda de San Miguel de Regla (Ram 356). Se elogió su trabajo.
1852	Miguel Velázquez de León	Preparador de química	Hizo observaciones al análisis del agua potable de Querétaro, concluyó que el agua no era potable (Ram 360)
1853	José M. Alcocer	Alumno	Elaboró con otras dos personas un sistema para preparar cobre metálico en polvo, aplicable al beneficio de patio (Ram 565)
1855	Manuel Herrera	Catedrático de química	Se dijo que descubrió la fotografía al mismo tiempo que Daguerre en París (Ram 391)
1857	F. D. Covarrubias, J. Mier y Terán, Próspero Goyzueta, Patricio Murphy y Francisco Herrera	Catedráticos y alumnos	Realizaron observaciones del eclipse del 25 de marzo (Ram 401)
1858	M. V. de León	Catedrático de la Escuela Práctica de Minas de Fresnillo	Determinó la declinación de la aguja magnética en Zacatecas (Ram 410)
1859	Antonio F. de Barros	Alumno	Invento para beneficiar minerales argentíferos (Ram 412)
1859	José Sebastián Segura	Alumno	Publicó sus apreciaciones sobre una obra escrita en 1858 por Juan Bowring sobre aplicación de la química y la electricidad al beneficio de los minerales de plata (Ram 412)
1860	J. V. de León	Director del Colegio	Publicó en el periódico científico "Anales Mexicanos" un artículo sobre preparación mecánica de los minerales de plata, un estudio del nire en las minas, hierro meteórico, aparatos electro-motores, divisores, telégrafos y telares eléctricos, etc. (Ram 418).
1860	F. D. Covarrubias		Publicó sobre una colección de tablas geodésicas para las latitudes de la República (Ram 418).
1860	Pascual Arenas	Director de la Escuela Práctica	Descripción geológica y mineralógica del Mineral de Fresnillo (Ram 418)
1860	Manuel Rivera	Alumno	Memoria sobre ferrocarriles atmosféricos (Ram 418)

8

⁴⁷ La abreviatura Ram se refiere a que la información se obtuvo del libro de Santiago Ramírez y el número indica la página.

⁴⁸ AHPM, M.L.98.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1808-1810.

⁴⁹ AHPM, M.L.100.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1814-1816.

⁵⁰ *Ibid.*

1860	J. V. León y F. D. Covarrubias		Publicaron sobre un eclipse de Sol (Ram 422)
1861	F. D. Covarrubias		Tradujo una memoria que se refería a un cometa (Ram 429)
1862	Manuel Contreras	Antiguo alumno	Invento de un sistema que ponía en movimiento los toneles sobre carriles de fierro, maderas, etc. (Ram 433)
1864	J. J. Harregui	Subsecretario de Fomento	Expidió una convocatoria para establecer el alumbrado de gas en la Ciudad de México (Ram 440)
1864	A. Castillo		Artículo sobre observaciones que hizo a la memoria que trataba del animal-planta
1864	Manuel Rivera	Antiguo alumno	Memoria sobre el Mineral de Pachuca
1864	Francisco Laur	Ingeniero de Minas	Pidió privilegio por un nuevo método de beneficio
1866	Roberto A. Esteva	Alumno	Premiado por un nuevo método para la elevación de potencias (Ram 472)
1866	Santiago Ramírez		Publicó sobre combustibles minerales (Ram 472)
1866	Miguel Iglesias		Memoria sobre el Desagüe del Valle de México ⁵¹
1866	Celso Acevedo	Antiguo alumno	Abrir un colegio de enseñanza primaria y secundaria (Ram 478)
1866	Carlos Romero		Estudio sobre los cables aplicados a las minas ⁵²
1878			Observación del tránsito de Mercurio por el disco Solar ⁵³
1882	A. Castillo	Director	Solicitó fondos al Ministro de Fomento para observar el paso de Venus en el Observatorio Astronómico de la Escuela
1886	Antonio del Castillo		Propuso la creación del Instituto Geológico Nacional
1889	José Joaquín Arriaga	Director de la Escuela de Agricultura	Observar el paso de Venus por el disco Solar, desde la Escuela Nacional de Agricultura. Se le prestaron instrumentos del gabinete de Astronomía ⁵⁴

⁵¹ *El Mexicano*, 29 julio 1866.

⁵² *El Mexicano*, 5 agosto 1866

⁵³ CESU, ENI, Académico, Convenciones, Exposiciones y estudios, caja 18, exp. 2, fo. 31-36.

⁵⁴ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 31, fo. 223-224.

2.2 La participación de los ingenieros en la creación de comisiones, expediciones e instituciones científicas.

Desde fines del siglo XVIII la ciencia se introdujo en México a través del movimiento de la ilustración como el medio para alcanzar el progreso. Esta concepción de la ciencia se heredó al México independiente y fue legalmente reconocida al establecerse en la Constitución. El Estado se atribuyó la responsabilidad de promover la ciencia porque estaba convencido que era la manera de crear conciencia ciudadana, fortalecer las instituciones republicanas, adquirir el buen desempeño de las instancias gubernamentales y reactivar la economía nacional. La manera de alcanzar estos objetivos se sustentaba en poseer una población ilustrada, mediante una instrucción pública adecuada, e implementando proyectos gubernamentales que le permitieran explotar los recursos naturales y explorar su vasto territorio. Para ello, el Estado organizó y coordinó a los científicos de mayor prestigio del país, entre los que destacaban los exalumnos, egresados, y profesores del Colegio de Minería. Muy pronto se incorporaron a diversos proyectos educativos en comisiones y en la creación de nuevas instituciones científicas. Así fue como el exalumno Lucas Alamán y el catedrático de mineralogía Andrés Manuel del Río participaron en la elaboración del plan general de instrucción y educación pública propuesto por el Supremo Poder Ejecutivo. Los catedráticos del colegio Manuel Castro (matemáticas), Cástulo Navarro (matemáticas), Manuel Ruiz de Tejada (física), Manuel Coteró (química) y Andrés Manuel del Río colaboraron en la reestructuración de su misma institución.⁵⁵ Dentro del colegio se elaboraban las cartas geográficas que necesitaba el Ejército para desempeñar sus funciones, por esto fue que en la etapa inicial del establecimiento del Colegio Militar se contrataron los peritos facultativos Tomás Ramón del Moral, Joaquín Velázquez de León, José María Cortés Gallardo y Manuel Mier y Terán.⁵⁶ Para fomentar la ilustración y fortalecer las instituciones republicanas se creó en 1826, por insistencia de

⁵⁵ Rodríguez B., L., *op. cit.*, pp. 141-153.

⁵⁶ Sánchez Lamego, M., *Los albores de la vida del Colegio Militar (1822-1828)*, México, Imprenta, Anáhuatl, 1937.

Alamán, el Instituto de Ciencias Literatura y Artes integrando como miembros a distinguidas personalidades, entre las que se encontraban miembros del colegio como Manuel Cotero (matemáticas), Andrés del Río, Joaquín Ramírez Rojas, Manuel Castro (matemáticas), Cástulo Navarro, Manuel Ruiz de Tejada (física) y Tomás Ramón del Moral, de hecho el Instituto estaba dividido en tres clases, las ciencias matemáticas, las ciencias naturales y la literatura. Del Moral además fue nombrado, en 1828, director de la Comisión de Estadística y Geografía del Estado de México para levantar cartas topográficas.⁵⁷

La estadística se perfilaba como una herramienta valiosa para el Estado porque le proveía elementos racionales para tomar decisiones en los ámbitos político, administrativo, fiscal, militar, sanitario e incluso educativo, por lo cual se creó en 1833 el Instituto Nacional de Geografía y Estadística, con el objetivo de explorar el territorio, configurar cartas generales, demarcar límites, realizar estudios hidrográficos del Valle de México, elaborar cartas marinas y levantar censos. Participaron en esta asociación, además de destacados funcionarios del gobierno, algunos profesores del Colegio de Minería como Tomás Ramón del Moral, Joaquín Velázquez de León, posteriormente se adhirió Manuel Andrés del Río. Debido a las inestabilidades que sufrió el país en esa década el Instituto dejó de funcionar. Años más tarde se fundó en su lugar La Comisión de Estadística Militar (1839) que no aceptó como miembros a los profesionistas civiles. En 1850 se transformó en Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.⁵⁸

Los ingenieros participaron también en la fundación y operación del Observatorio Astronómico Nacional de Chapultepec creado para facilitar los trabajos geográficos (diseño y construcción de series de mapas) de las comisiones científicas del gobierno.⁵⁹ En las

⁵⁷ Rodríguez B., L., *op. cit.*, pp. 164-165.

⁵⁸ Trabulse, E., *Historia de la Ciencia en México*, tomo IV, CONACYT-FCE, México, 1983; Lozano, M., "El Instituto Nacional de Geografía y Estadística y su Sucesora la Comisión de Estadística Militar", Cuadernos de Quipu 4, *Los Orígenes de la Ciencia Nacional*, Editor Juan José Saldaña, Sociedad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1992.

⁵⁹ El Observatorio se fundó en 1862, quedando Francisco Díaz Covarrubias como director, quien invitó a colaborar con él a otros ingenieros como Agustín Barroso. Se hacían observaciones para determinar posiciones geográficas, las cuales fueron suspendidas por la intervención francesa. Restaurada la República quedó a cargo del

Comisiones Mexicanas de Límites que se formaron para delimitar los límites que había entre nuestro país y los Estados Unidos,⁶⁰ en la Comisión Geodésica Mexicana con el objeto de realizar operaciones geodésicas que apoyaran la solución de problemas locales del sistema hacendario y de agricultura, además del estudio de la desviación de la vertical, y del problema de la forma y dimensiones de la Tierra.⁶¹

También se integraron a otras actividades como las siguientes: En 1856 se estableció una Dirección General para la formación del Mapa Geográfico del Valle de México.⁶² En 1861 se formó una comisión que debía realizar un estudio hidrográfico del Valle de México. En 1863 se formó la comisión geográfica que haría un levantamiento de planos y mapas de la península yucateca. En 1864 se formó en París la *Commission Scientifique du Mexique* y la Comisión Científica de Pachuca, esta última adscrita a la comisión anterior. Los miembros de la primera comisión realizaron importantes observaciones astronómicas y determinaron la posición de algunas ciudades del país, con el objeto de perfeccionar la geografía del mismo. De igual forma realizaron investigaciones botánicas, zoológicas, geológicas y mineralógicas novedosas que las colocan en un lugar relevante dentro de la literatura científica mexicana.⁶³ En 1866, Joaquín de Mier y Terán, como Ministro de Fomento expidió el reglamento de la Compañía Imperial Mexicana de Ferrocarriles del Interior, formada por el Comisario Imperial de la Tercera División Luis Robles Pezuela,

Observatorio el ingeniero Angel Anguiano (1840-1921) quien inició en 1881 la publicación del *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional*. Ver Moreno C., M. A., "Algunos sucesos que dieron origen a la fundación definitiva del Observatorio Astronómico Nacional de México en 1878", *Quipu*, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología, 3 (1986), 3:299-309; CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 2, exp. 6, fo. 55.

⁶⁰ En 1848, a petición de Joaquín de Herrera, quedó constituida la Comisión Internacional de Límites la cual estuvo encabezada por José Salazar Ilarregui. Entre 1852 y 1853 esta comisión pasó por angustiosa situación por falta de recursos económicos. Años después se recuperó y envió hasta 1858, 58 mapas de la línea divisoria entre estos dos países. Ver Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, pp. 337-403.

⁶¹ El ingeniero Angel Anguiano quedó como director de la Comisión Geodésica Mexicana, el ingeniero Valentín Gama como subdirector, como parte del personal se encontraban los ingenieros Miguel Pérez y Abel Díaz Covarrubias. Ver Mendoza, H., *Los ingenieros geógrafos de México*, Tesis (asesor J.J. Saldaña), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1993, pp. 290-293.

⁶² Con las siguientes secciones y sus respectivos integrantes: astronomía y geodesia, con José Salazar Ilarregui como director y Francisco Díaz Covarrubias como primer ingeniero; topografía con Manuel Fernández Leal, Miguel Iglesias, Francisco Herrera y Ramón Almaraz; Historia y antigüedades con Fernando Ramírez, Manuel Orozco y Berra, Leopoldo Río de la Loza y Faustino Galicia Chimalpopoca; estadística y geografía comparada con Manuel Orozco y Berra; sección central y de redacción con Fernando Ramírez, Manuel Orozco y Berra y Leopoldo Río de la Loza; Historia Natural, Botánica y Zoología, etc. Ver Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 396.

⁶³ Esta comisión dió lugar a una memoria científica. Ver Trabulse, E., 1983, *op. cit.*, pp. 194-200.

asimismo expidió un decreto donde se extinguió la Dirección de Aguas y organizó los trabajos hidrográficos en el Valle de México.⁶⁴ En 1874, el ingeniero Francisco Díaz Covarrubias encabezó la expedición mexicana al Japón para observar el paso de Venus por el disco solar.⁶⁵ En 1877 el Ministro de Fomento creó la Sección de Cartografía, que meses después dio lugar a la Comisión Geográfico Exploradora que debía formar un Atlas general del país, incluyendo cartas de reconocimiento, hidrográficas, de poblaciones y militares.⁶⁶ En 1883 se creó la Dirección General de Estadística con la idea de levantar y publicar todo tipo de estadísticas.⁶⁷

2.3 Los ingenieros y su relación con el Estado

Hector Mendoza,⁶⁸ basándose en la teoría de la estructura burocrática de Merton⁶⁹ - la cual sustenta que existen dos tipos de intelectuales, los que ejercen funciones asesoras y técnicas dentro de una burocracia y los que no pertenecen a una burocracia-, encontró que la comunidad de ingenieros geógrafos se dividió precisamente de esta manera. Los ingenieros geógrafos ortodoxos que seguían los lineamientos estrictos de la educación profesional se limitaron a realizar funciones asesoras y técnicas dentro de la burocracia. Tal fue el caso de Francisco Díaz Covarrubias, quien tuvo al gobierno como cliente a través de un contrato para formar una carta geodésica y topográfica del Valle de México (que formaba parte del proyecto del Atlas Nacional) utilizando los rigurosos métodos geográficos, estableciendo una división del trabajo en la cual él era el director de operaciones y los ingenieros topógrafos los operarios. En cambio, los ingenieros geógrafos heterodoxos, como los denomina Mendoza, aunque trabajaron en la burocracia oficial destinaron tiempo extra para

⁶⁴ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 477.

⁶⁵ Moreno Corral, M. A. (comp.), *Historia de la Astronomía en México*, SEP, FCE, Colección la ciencia desde México No. 4, 1986.

⁶⁶ El proyecto estuvo a cargo del Ministerio de Fomento. En 1865 se le encargó al ingeniero Ramón Almaras el reconocimiento de caminos, terrenos, estudios del clima, de minas, etc. Ver *Diario Oficial*, 13 enero, 1877; Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 457.

⁶⁷ Trábulse, E., 1983, *op. cit.*, pp. 197-198.

⁶⁸ Mendoza, H., *op. cit.*, p. 249.

⁶⁹ Merton, R., *Teoría y estructura sociales*, Fondo de Cultura Económica, México, 1964.

prepararse y elaborar sus propios proyectos, independientemente si eran o no apoyados por el gobierno. En esta situación encontramos al ingeniero topógrafo Antonio García Cubas (1832-1912) quien trabajó en el Ministerio de Fomento recién fundado, como amateur, elaboró mediante un método geográfico de gabinete un Atlas geográfico e histórico de la República Mexicana que fue elogiado por la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística y recompensado por el gobierno. Debido a esta labor el gobierno mexicano, le asignó la tarea de construir una nueva carta general de la República Mexicana que al terminarla fue aplaudida porque era un trabajo geográfico de escala y formato pequeño, que permitía rápidamente observar la forma, límites y extensión del país.⁷⁰

Lewis Pyenson⁷¹ en su estudio sobre el esparcimiento de la ciencia moderna en Latinoamérica, encuentra que a estos países llegaron dos tipos de científicos misioneros, los "funcionarios" y los "seekers". Los primeros respondían a autoridades centrales de sus países y tenían la misión de promover la ciencia con fines de explotación, mientras que los segundos se interesaban por fomentar la ciencia en las comunidades con la intención de que se produjeran nuevos avances en la ciencia de carácter original. En el caso de México, el autor expone como durante la invasión francesa que sufrió nuestro país en 1864, Francia envió un grupo de científicos con la misión de explorar los recursos naturales y riquezas de la nación mexicana, aunque no se descartó la posibilidad de realizar estudios que contribuyeran al avance de la ciencia. Al entrevistarse oficiales franceses con científicos mexicanos se llegó a la conclusión que la tarea se facilitaría si se formaba una comisión científica, integrada por ingenieros de ambos países. Los franceses tomaron la posición de líderes que definían el trabajo, mientras que los mexicanos fueron los encargados de medir y coleccionar, destacando en su participación ingenieros como Francisco Jiménez, Francisco Díaz Covarrubias, Manuel Fernández y Miguel Iglesias. Cabe resaltar que dentro de las jerarquías, algunos de los ingenieros mexicanos que actuaban como burócratas en nuestro país, se convirtieron en operarios de los burócratas franceses.

⁷⁰ Mendoza, H., *op. cit.*, pp. 247-259.

⁷¹ Pyenson, L., "Functionaries and Seekers in Latin America: Missionary Diffusion of the Exact Sciences, 1850-1930", *Quipu. Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología*, 2 (1985), 3:387-420.

Los puestos de ingenieros burócratas no fueron exclusivos de los ingenieros geógrafos, se incorporaron no sólo de diversas carreras de ingeniería, sino de todos los establecimientos científicos superiores. Esta situación fue atribuida por Palavicini a una escasez de trabajo para ellos, opina que en lugar de formar profesionistas, la educación oficial debió estar enfocada a suprimir el analfabetismo, crear obreros aptos y técnicos competentes, porque de esta manera se mejora la producción, a diferencia de los que egresaron de los altos estudios y de carreras no lucrativas que sólo les quedaba "el dedicarse a la ciencia por amor y a amar la ciencia por la ciencia" dejando a un lado "la ciencia por la vida y para la vida".⁷²

El campo de trabajo de los ingenieros no se concretó al ámbito burocrático, muchos de ellos se dedicaron a trabajar por su cuenta en actividades relacionadas con la minería y con la realización de obras de infraestructura, como carreteras, ferrocarriles, obras en los puertos, monumentos, puentes, comunicaciones, obras públicas urbanas, presas, levantamiento de todo tipo de planos, etcétera.⁷³ Los ingenieros civiles, además de haber ocupado puestos en la administración pública, se distinguieron como arquitectos al construir gran cantidad de obras públicas y privadas. El que algunos de los ingenieros trabajaran en la burocracia se debió a que fueron desplazados por extranjeros al ocupar éstos los puestos más elevados en las industrias e incluso en algunas de las obras de infraestructura. Bazant⁷⁴ considera que esta situación fue producto de una incongruencia entre la política económica y la política educativa del Porfiriato.

Lo cierto es que al Estado le convenía tener en su gabinete individuos científicamente capacitados que le ayudaran a organizar y administrar el país (en el cuadro

⁷² Palavicini, F., "Debemos formar técnicos", en *Debate pedagógico durante el porfiriato*, Antología preparada por Mirlada Bazant, Secretaría de Educación Pública, México, 1985, pp. 139-142.

⁷³ Macedo, P., *La evolución mercantil; comunicaciones y obras públicas; la hacienda pública*; México, UNAM, 1989, pp. 195-328.

⁷⁴ Bazant, M., "La enseñanza y la práctica de la ingeniería durante el Porfiriato", en *La educación en la historia de México*. El Colegio de México, México, 1992, México.

2.3 se muestra una lista de los ingenieros que ocuparon cargos públicos de 1830 a 1867),⁷⁵ al igual que a los ingenieros les convenía esta relación si querían promover el desarrollo de la ciencia, ya que no había otra instancia en el país capaz de fomentar proyectos de carácter científico. De esta manera se estableció una negociación de la cual ambas partes saldrían beneficiadas, excepto, claro esta, para aquellos ingenieros que participaron y apoyaron regímenes que perdieron el poder. Por ejemplo, José Salazar Ilarregui, Manuel Orozco y Berra y Joaquín de Mier y Terán que fueron expulsados del país o encarcelados al restaurarse la República, mientras que otros, como Francisco Díaz Covarrubias fueron recompensados con cargos públicos de importancia. Esto indica que participar en las actividades gubernamentales como ingeniero burócrata tenía sus riesgos.⁷⁶

Los ingenieros estuvieron integrados como comunidad científica, lo que les permitió crear en 1869 la Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México y en 1899 constituirse en Sociedad de Ingenieros y Artistas Mexicanos. No sólo poseían vínculos internos como comunidad, sino que también los tenían con comunidades de otras especialidades como fue el caso de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística (generalmente integrada por ingenieros), la Sociedad Mexicana de Historia Natural (1868) y la Sociedad Antonio Alzate (1884). Por ejemplo, la Sociedad Antonio Alzate poseía como miembros a los ingenieros Francisco Díaz Covarrubias, Angel Anguiano, Miguel Pérez (catedrático de física matemática y cálculo de probabilidades y subdirector del Observatorio Meteorológico Central), Antonio del Castillo, Santiago Ramírez, Joaquín Mendizabal y Tamborrel,

⁷⁵ Aunque no está tan completo como se desearía, nos da una idea de la importancia de los cargos que llegaron a ocupar. Su incursión en la esfera política fue tal que algunos se convirtieron en elementos indispensables dentro de la estructura gubernamental.

⁷⁶ Joaquín de Mier y Terán fue catedrático de matemáticas del Colegio de Minería. Participó en el Imperio como Ministro de Fomento en el cual tenía a su cargo proyectos como los de caminos carreteros, puertos, canalización, ferrocarriles, telégrafos, trabajos en los puertos, minas y colonización. Para llevar a cabo estos proyectos creó en 1866 la Compañía Imperial Mexicana de Ferrocarriles del Interior. En 1867 presentó una ampliación al reglamento sobre telégrafos. Este mismo año el Emperador le solicitó que le proporcionara los medios para que colonizaran aquellos extranjeros que por escasez de recursos no podían regresar a su país. Asimismo realizó algunas reformas al muelle del Puerto de Veracruz y la construcción de un tinglado para el depósito de las mercancías. A finales del año de 1867, el Gobierno por conducto del Ministerio de Guerra, condenó al destierro a Joaquín de Mier y Terán, entre otros más. Terán emigró a la Habana, donde murió el 28 de enero de 1868. Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, pp. 466-482.

Guillermo B. Puga, etcétera.⁷⁷ La integración de los científicos en una comunidad que le servía al Estado y su participación como burócratas permitió abrir espacios institucionalizados donde se desarrolló la ciencia. Un ejemplo fue el Instituto Geológico Nacional que se fundó en 1891 gracias a la intervención de su primer director el ingeniero Antonio del Castillo. El Instituto dependía del Ministerio de Fomento y estaba unido a la Escuela de Ingenieros y a la Escuela Práctica de Minas. Su objetivo era practicar y dirigir el estudio geológico del territorio, desde el punto de vista científico, técnico e industrial. Una de sus primeras tareas fue la de formar y publicar la Carta Geológica de la República Mexicana.⁷⁸ Otro ejemplo que ya mencionamos fue el del ingeniero Francisco Díaz Covarrubias que como burócrata solicitó la fundación de un Observatorio Astronómico Nacional (1863) para fines cartográficos y geodésicos.

El hecho de que los ingenieros hayan tomado el papel de burócratas benefició a la ciencia mexicana, en el sentido de que se pudieron crear no sólo espacios destinados al desarrollo de ésta, sino también medios para difundirla como fueron las publicaciones. La divulgación junto con la actividad social de los ingenieros los condujo a la adquisición de un reconocimiento social, con lo cual se les facilitaba llevar a cabo sus proyectos, los cuales necesariamente fueron compatibles con los intereses del gobierno. Por esta razón se pudieron crear centros de investigación, aunque no en todas las áreas; la física no fue una de ellas, quizás por el papel subordinado que jugó México respecto a los extranjeros en los ámbitos industrial y profesional (como se verá en el último capítulo).

⁷⁷ Azuela, L. F., *La investigación científica en el porfiriato desde la perspectiva de las principales sociedades científicas*. Tesis (asesor J. J. Saldaña). Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1993, p. 103.

⁷⁸ El Instituto dependía del Ministerio de Fomento. CESU, ENI, Dirección, informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 105-398. Ver Trubulsee, E., 1983, *op. cit.*, p. 192.

CUADRO 2.3. Cargos públicos que ocuparon algunos de los ingenieros egresados del Colegio de Minería⁷⁹

Año	Nombre del Ingeniero	Actividad	Cargo
1830	Lucas Alamán	Fue estudiante	Ministro de Relaciones (Ram 279)
1834	Ignacio Mora	Director del Colegio	Oficial Mayor 1o. del Ministro de Guerra (Ram 296)
1842	José M. Tornel		Ministro de Guerra y Marina
1851	Antonio del Castillo		Diputado
1853	José Ma. Tornel y Mendivil		Secretario de Estado y del Despacho de Guerra
1853	Joaquín Velázquez de León	Catedrático de Zoología	Ministro de Fomento, Colonización, Industria y Comercio (fue el primero, Ram 365)
1856	J. S. Ilarregui		Diputado Suplente al Congreso General (Estado de Chihuahua)
1857	Manuel Orozco y Berra		Oficial Mayor del Ministerio de Fomento
1858	J. V. León		Consejero de Gobierno (Departamento de Aguascalientes)
1859	José Salazar Ilarregui		Interventor de la Casa de Moneda y Apartador (Ram 415)
1861	Blas Balcárcel		Ministro de Fomento (Ram 429)
1863	J. S. Ilarregui		Subsecretario de Fomento (Ram 436)
1864	Luis Robles		Subsecretario de Fomento (Ram 411)
1864	J. V. León	Catedrático de zoología	Ministro sin cartera (Ram 441)
1864	J. S. Ilarregui		Comisario Imperial de la Península de Yucatán y Presidente Honorario de la Comisión Científica Literaria y Artística de México (Ram 441)
1864	Luis Robles		Subsecretario de Fomento
1866	Robles		Ministro de Fomento
1866	J. S. Ilarregui		Ministro de Gobernación (Ram 466)
1866	J. S. Ilarregui		Consejero de Estado (Ram 475)
1866	Joaquín de Mier y Terán	Catedrático de matemáticas	de Ministro de Fomento (Ram 475)
1866	Juan Cecilio Barquera	Catedrático de Mecánica	de Subsecretario de Instrucción Pública y Cultos (Ram 475)
1867	Blas Balcárcel		Ministro de Fomento (Ram 489)
1867	F. D. Covarrubias		Oficial Mayor del Ministerio de Fomento (Ram 489)

⁷⁹ Nuevamente insisto en que no está dentro de los límites de esta investigación el buscar todos los cargos políticos que ocuparon todos los egresados del Colegio de Minería. Es simplemente una muestra que surgió del desarrollo de esta investigación y que expone claramente la estrecha relación que existía entre los ingenieros y el Estado. Nuevamente la abreviatura Ram indica que esa información se obtuvo del libro de Santiago Ramírez.

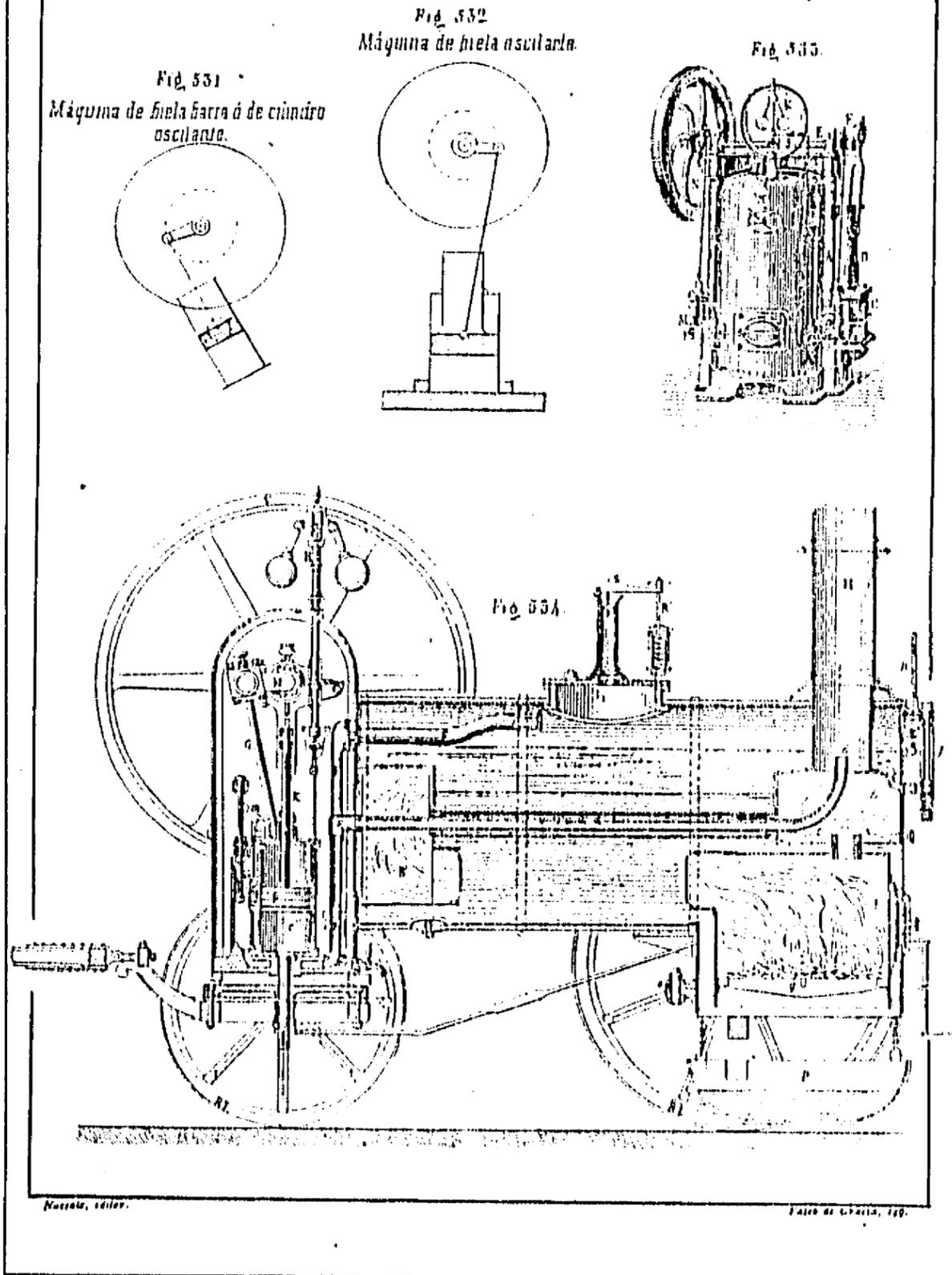


Figura 1. Construcción de locomotoras en talleres europeos utilizando conocimientos de mecánica práctica y aplicada.
 Copia del libro de V. F. Reuleux, *Tratado General de Mecánica, para Ingenieros, constructores, maquinistas, arquitectos, & &*, F. Nacenta, Editor, Paseo de Gracia, 149, Barcelona, 1887.
 (Biblioteca Lafragua).

III. CREACIÓN DE NUEVOS CURSOS Y PROFESIONES

Con el detalle que las fuentes documentales lo permiten, en esta sección se describirá la forma en que paulatinamente se fueron creando los cursos y profesiones en el Colegio de Minería durante el siglo XIX. Para facilitar el manejo de la información se decidió organizarla en forma de cuadros y concentrarla en apéndices con el fin de que se pueda consultar en cualquier etapa de esta sección o de la tesis en general. En particular, en este capítulo nos referiremos regularmente a los apéndices A y B, los cuales presentan los planes de estudio de distintos años y las materias impartidas con los nombres de sus respectivos profesores.¹

La vida del Colegio de Minería comenzó en el año de 1792 con la carrera de perito facultativo de minas. Inicialmente, esta carrera constaba de seis años: cuatro de cátedras (matemáticas, física, química y mineralogía) y dos de práctica en los reales de minas, aunque pocos años después de su fundación se aumentó un año más de cursos de matemáticas. Y conforme se aproximaba el fin del siglo XVIII y el comienzo del XIX, se fueron creando nuevos cursos que servían de complemento a su formación científica: se introdujeron clases de dibujo, latinidad, francés, lógica y geografía (como se observa en el cuadro B.1). En 1810, el Tribunal suprimió estas cátedras por considerar que impedían el buen aprovechamiento de los cursos de ciencias puras, conservando únicamente las materias científicas iniciales. El catedrático de la clase de francés, Mariano Chanin, solicitó que no se le suspendiera su pago, y se aceptó su petición a condición de que enseñara gramática castellana. La cátedra mejor pagada era la de mineralogía con 197.5 pesos mensuales, y la más baja correspondía al primer curso de matemáticas con 62.4 pesos mensuales.²

¹ En el apéndice A se presentan los planes de estudios de 1843, 1858, 1869, 1883, 1889, 1892, 1993 y 1897. El apéndice B abarca un número mayor de años.

² Para darnos una idea de lo que ganaban algunos miembros del colegio, el rector Marcos de Cárdenas percibía 83 pesos mensuales y el vicerector José Mariano de Apezchea 41.5 pesos mensuales. Ver AHPM, 1810 I 149; AHPM, M.L.338.B. Libro de Ordenes 1811; AHPM, M.L.99.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1811-1843; AGN, Vol. 11, Justicia e Instrucción Pública, 1822-1834, p. 306, 118 y 136.

Esta forma de funcionar se conservó prácticamente hasta 1833, cuando empezaron a operar las reformas educativas establecidas por José María Luis Mora. Ni aún cuando México obtuvo su independencia se realizaron cambios en las cátedras impartidas, aunque si se produjeron algunos en el reglamento aprobado por la Corte de España.³ A partir de 1833 el colegio, además de pasar a manos del Estado, se transformó en el tercer establecimiento de ciencias físicas y matemáticas, para lo cual se reemplazó a la mayor parte de los catedráticos y se introdujeron nuevas cátedras como la de historia natural, geología, cosmografía, astronomía y geografía, dibujo, francés, alemán y delineación.⁴ A principios de 1834 el Ministro de Relaciones expidió una circular para que los agrimensores se recibieran en este establecimiento.⁵ Con esta disposición el Colegio de Minería abrió el panorama a nuevas especialidades, aún considerando que en 1816 se creó -a petición del catedrático de física Manuel Ruiz de Tejada- la carrera de ensayador, la cual estaba tan estrechamente ligada a la actividad minera, como la de perito facultativo de minas.⁶

Estas reformas no permanecieron por mucho tiempo: el 4 de agosto de 1834 se publicó en el periódico el *Telégrafo* un documento donde la Secretaría de Relaciones exteriores criticaba la reforma general en el plan de instrucción pública argumentando que "los esfuerzos que se hacían para que la juventud pudiera ilustrarse conforme el estado de civilización que demandan las luces del siglo y los progresos de la literatura en todos sus ramos, esperaba con justicia unas leyes análogas y capaces de llenar tan importante objeto. Pero luego que S.E. se impuso del decreto de 19 de octubre del año próximo pasado de 1833 y los que lo siguieron, no pudo menos de notar las graves dificultades y obstáculos que envolvían sus disposiciones". Se oponía a varios artículos que se habían establecido y propuso suspenderlos y regresar a la situación anterior mientras se organizaba un nuevo plan general de estudios. De esta manera la Universidad, el Colegio de Minería y otras instituciones educativas regresaron a su situación original.⁷ Se nombró una junta para que en colaboración con los rectores de los colegios de San Juan de Letrán, San Idelfonso, San

³ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 256 y 260.

⁴ El salario de los profesores se redujo a 1,200 pesos anuales, Ver Staples, A., 1985, *op. cit.*, p. 88.

⁵ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 294.

⁶ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 236

⁷ AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 10, fs. 101-118.

Gregorio y de Minería, se propusiera un Plan General de Instrucción Pública. Este plan se terminó y presentó el 13 de noviembre del mismo año, destacándose la importancia de instruir a la juventud en los progresos de las ciencias. En particular el Colegio de Minería regresó prácticamente al plan de estudios que impartía antes de la reforma de 1833.⁸

Las tres profesiones de prácticos facultativos mineros, beneficiadores de metales y agrimensores y ensayadores se continuaron impartiendo hasta 1842.⁹ Al año siguiente, el presidente interino provisional Antonio López de Santa Anna decretó a través de Manuel Baranda, Ministro de la Junta de Instrucción Pública, el establecimiento de las Escuelas de Agricultura, la de Artes y Oficios y la de Estudios Preparatorios;¹⁰ asimismo, designó las carreras que el Colegio de Minería debía impartir. Como se muestra en el cuadro 3.1, se crearon las de beneficiador de metales, apartador de oro y plata, geógrafo y naturalista. La carrera de perito facultativo de minas se transformó en ingeniero de minas. Cabe destacar que es la primera vez que aparece el título de ingeniero como profesión (en el cuadro A.1. se muestran los planes de estudio de cada una de las carreras). Se decidió además que el Presidente de la República estaría presente en el evento anual de Actos Públicos y en la entrega de los premios, y que los cuatro mejores alumnos serían enviados a Europa para perfeccionar sus estudios.¹¹

⁸ AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 10, fs. 101-118; Ramírez, S., *op. cit.*, p. 297.

⁹ Este año el director manifestó al Ministerio de Justicia e Instrucción Pública la necesidad de concluir las obras emprendidas en el observatorio del colegio y en la clase de cosmografía. El edificio se encontraba seriamente dañado por los combates del año anterior. Asimismo el catedrático de mineralogía, Andrés Manuel del Río, solicitó su jubilación. Ver AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 37, 1833-1854; Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 307.

¹⁰ En la Escuela de Agricultura no estaba considerada la enseñanza de la física, a diferencia de la Escuela de Artes y Oficios donde además de impartir mecánica aplicada a las artes, se enseñaba matemáticas, química aplicada, dibujo lineal, de máquinas y de decoraciones. Para ingresar a estas escuelas los alumnos debían demostrar poseer conocimientos de aritmética. Sus prácticas eran de fundición y "plaqué", de laborar y torneear metales y madera, de hiladuría y tejido de lino. En sus exámenes anuales estaría presente el presidente de la república quien impartiría los premios. Ver *El Siglo XIX*, 6 de octubre de 1843.

¹¹ Dentro del ámbito de la educación, el año de 1843 destaca porque se decretaron nacionales todos los colegios y establecimientos de educación secundaria. Los salarios dependían de la materia que impartían, los más altos eran para los profesores de las clases de física, química y mineralogía con 1,500 pesos; matemáticas 1,200 pesos anuales. Las obligaciones se distribuyeron de la siguiente manera: el director debía desde administrar el Colegio hasta citar a la Junta Facultativa, informar al gobierno de negocios y problemas, proponer al gobierno medidas legislativas que mejoraran las condiciones del Colegio. El rector capellán se encargaba tanto de la educación religiosa, moral y civil de los alumnos como de su cuidado personal y alimenticio. La Junta Facultativa, integrado por el director y cuatro profesores que se elegían anualmente, se reunía el día primero de cada mes para tomar decisiones sobre los catedráticos, la correspondencia, custodiar el archivo del Colegio, relacionarse con establecimientos y sociedades científicas, encargarse de la adquisición de aparatos libros e instrumentos del colegio, de los laboratorios, hacer los programas de estudio de cada año, de los exámenes anuales, etc. Los profesores, además de dar sus clases, debían proponer materiales que se pudieran adquirir para el colegio. El prefecto de estudio y los sustitutos de cátedras tenían que ayudar a resolver las dudas de los alumnos fuera

Cuadro 3.1. Carreras que se impartieron en el Colegio de Minería y en la Escuela de Ingenieros durante el siglo XIX

1792	1816 ¹²	1834 ¹³	1842 ¹⁴	1843 ¹⁵	1858 ¹⁶	1861 ¹⁷
Perito facultativo de minas	Perito facultativo de minas	Prácticos facultativos mineros	Prácticos facultativos de minas	Ingeniero de minas	Ingeniero de minas	Ingeniero de minas
	Ensayador	Ensayadores	Ensayadores	Ensayador	Ensayador y apartador	Ensayador
		Agrimensor	Agrimensor	Agrimensor	Ingeniero topógrafo o agrimensor	Topógrafo
			Beneficiadores de metales	Beneficiadores de metales	Beneficiador	Beneficiador de metales
				Apartador de oro y plata		Apartador
				Geógrafo	Ingeniero geógrafo	
				Naturalista		

de clase, ayudar a las actividades del rector en su ausencia, ayudar a los catedráticos a preparar sus clases, etc. Dos años más tarde José María Tornel, director del colegio, suministró a esta institución de los fondos necesarios para que se convirtiera en un plantel de ciencias físicas y exactas. Ver AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 37, fs. 184-188; *El siglo XIX*, 6 de octubre 1843; Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 314 y 316; AGN, vol. 38, Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854.

¹² Ramírez S., 1890, *op. cit.*, p. 236.

¹³ *Ibid.*, p. 294

¹⁴ AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 37, 1833-1854.

¹⁵ *Ibidem*

¹⁶ AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 72, fs. 86-87.

¹⁷ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 427.

1867 ¹⁸	1869 ¹⁹	1883 ²⁰	1889 ²¹	1892 ²²	1893 ²³	1897 ²⁴
Ingeniero de minas	Ingeniero de minas	Ingeniero de minas y metalurgista	Ingeniero de minas	Ingeniero de minas y metalurgista	Ingeniero de minas y metalurgista	Ingeniero de minas y metalurgista
Ensayador	Ensayadores	Ensayador y apartador de metales	Ensayador	Ensayador y apartador de metales *	Ensayador y apartador de metales	Ensayador y apartador de metales
Ingeniero topógrafo e hidromensor		Ingeniero topógrafo e hidrógrafo		Ingeniero topógrafo e hidrógrafo *	Ingeniero topógrafo e hidrógrafo	Ingeniero topógrafo e hidrógrafo
Beneficiador de Metales						
Ingeniero geógrafo e hidrógrafo	Ingeniero geógrafo e hidrógrafo	Ingeniero geógrafo		Ingeniero geógrafo y astrónomo	Ingeniero geógrafo	Ingeniero geógrafo
Ingeniero mecánico	Ingeniero mecánico	Ingeniero industrial	Ingeniero industrial	Ingeniero industrial	Ingeniero industrial	Ingeniero industrial
Ingeniero civil	Ingeniero civil	Ingeniero de caminos, puertos y canales	Ingeniero civil			
		Telegrafista	Ingeniero electricista	Ingeniero electricista	Telegrafista	Ingeniero electricista
	Ingeniero geógrafo				Ingeniero arquitecto	

* En este año estas carreras no se consideraron como profesiones.

¹⁸ Juárez expidió el 2 de diciembre de 1867 la Ley Orgánica de Instrucción Pública que transformó al Colegio de Minería en Escuela de Ingenieros. Ver CESU, ENI, Dirección, caja 2, exp. 3, fo. 29-35; Bareda, G., *La educación positivista en México*, Editorial Porrúa, S. A., México, 1978, pp. 71-74.

¹⁹ La Ley Orgánica de 1867 sufrió modificaciones. Ver CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, cursos, caja 19, exp. 2, fo. 7-8.

²⁰ La reforma de la Ley de Instrucción Pública (en lo que se refería a la enseñanza agrícola y minera) se llevó a cabo por decreto del 15 de febrero de 1883. Ver CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 5, fo. 37-40.

²¹ CESU, ENI, Académico, Actos Culturales, caja 17, exp. 6, fo. 12-13; CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 29, fo. 196-202 y exp. 30, fo. 196-220.

²² CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 105-398.

²³ Por una nueva Ley de Instrucción Pública expedida por la Secretaría de Fomento

²⁴ Se establece la Ley de Enseñanza Profesional de la Escuela Nacional de Ingenieros el 15 de septiembre de 1897. Ver CESU, ENI, Asuntos escolares, Calificaciones y exámenes, caja 25, exp. 39, fo. 189-227.

Por primera vez las materias impartidas no sólo superaron en número a las de años anteriores, sino que también se introdujeron nuevas disciplinas científicas como mecánica aplicada a la minería, geología, geografía, análisis químico, zoología, botánica y análisis de laboratorio químico. Respectivamente, estas disciplinas fueron impartidas por Antonio del Castillo, Manuel Robles, Blas Balcárcel, Joaquín Velázquez de León y Leopoldo Río de la Loza, con excepción de la cátedra de botánica que no tenía aún el nombre del profesor. Se anexaron, además, cátedras como delineación; cosmografía, geodesia y uranografía; gramática castellana, ideología y lógica; y los idiomas de francés y alemán.²⁵

Después de efectuada esta reforma, aparecieron frecuentemente a lo largo del siglo XIX propuestas de nuevos planes de estudio con la idea de fortalecer la formación profesional de los egresados del colegio, aunque no todas se pusieron en práctica. En particular la que elaboró en 1851 el diputado e ingeniero de minas, Antonio del Castillo, se llevó a cabo sólo en algunos aspectos. Su proyecto consistía en la creación de una Escuela Práctica de Minas, un Consejo de Minería y Obras Públicas, y la incorporación de la carrera de ingeniero civil. Con esta última buscaba educar a la juventud y al pueblo para la industria y ayudaría a explotar los recursos naturales.²⁶ Por ejemplo, utilizar la energía que se produce en las caídas de agua que "representan un poder mecánico inagotable", aprovechar los bosques y los extensos depósitos de carbón fósil que "representan una fuerza de vapor almacenada", etcétera. Sugirió que se creara para estos ingenieros dos cátedras nuevas: la de mecánica aplicada al establecimiento de máquinas (que implicaba la mecánica aplicada a la industria) y el curso de construcciones (que involucraba navegación, caminos, puentes y construcciones civiles); y dos cátedras auxiliares, la geometría descriptiva aplicada y la de derecho administrativo. Aclaraba que estas materias aparecían en todos los programas de estudios para los ingenieros civiles de los colegios de Europa. Por otra parte, consciente de los problemas presupuestales que se tenían, propuso se suprimieran las

²⁵ AGN, vol. 37, Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854.

²⁶ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 354.

carreras de naturalista, geógrafo y apartador de oro y plata, porque consideraba que no eran propiamente carreras.²⁷

El mismo Antonio del Castillo redactó posteriormente el proyecto de Ley para arreglar el colegio. Los cursos preparatorios constaban de dos años y consideraban estudios de física y mecánica racional entre otros. Las carreras que proponía que se impartieran fueron las de agrimensor, ingeniero civil, metalurgista, e ingeniero de minas. Se incluía también la creación de cátedras como mecánica aplicada a las máquinas, teoría mecánica de las construcciones, estereotomía y contabilidad mercantil, entre otras.²⁸

La Escuela Práctica de Minas se fundó en 1853 y el Consejo de Minería se estableció a finales de los años sesentas, ocupando el cargo de presidente el mismo director del colegio y de la Escuela Práctica. Entre sus funciones estaba informar en lo necesario al Ministerio de Colonización, Comercio, Industria y Fomento; expedir los títulos de las profesiones, proveer las plazas de dotación y media dotación; nombrar comisiones para explicar algunos fenómenos naturales; formar los reglamentos y programas del colegio y la Escuela Práctica.²⁹ En 1855 se sugirió, nuevamente, la creación de la carrera de ingeniero civil, insistiendo en que algunas de las materias se podían cursar en la Academia de San Carlos.³⁰

Los planes de estudios de las siete carreras que se ofrecían, con distintos periodos de duración, tenían la peculiaridad de que las carreras de menor duración estaban contenidas en las de mayor duración, salvo pequeñas diferencias en ciertos cursos y en las prácticas (como se observa en el cuadro A.1). La carrera de agrimensor, la más corta, duraba cuatro años, de los cuales tres se cubrían con los estudios preparatorios y el último con cursos de especialización.³¹ La carrera de ensayador, con una duración de cinco años, cubría la del

²⁷ Para del Castillo las carreras indispensables eran la de agrimensor (que incluía la de geógrafo), ingeniero civil, metalurgista (la cual debería considerar al ensayador y apartador de oro y plata) e ingeniero de minas. Ver *El Siglo XIX*, 26 marzo, 1851.

²⁸ AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 70, 1855-1860, fs. 279-283.

²⁹ *Ibidem*.

³⁰ CESU, ENI, Dirección, Contabilidad, caja 2, exp. 2, fo. 28.

³¹ Elementos de mecánica racional; teoría del "calórico", de la electricidad y del magnetismo; elementos de óptica, de acústica, de meteorología; inglés; delineación y práctica.

agrimensor en los cuatro primeros años y en el último se llevaban cursos específicos relacionados con esta profesión.³² La carrera de apartador de oro y plata, cuya duración era de seis años, cubría los cinco primeros del agrimensor y el último de prácticas. Lo mismo sucedía con la carrera de beneficiador de metales (7 años), con la diferencia de que ésta cubría dos años de prácticas. El ingeniero de minas tenía una duración de nueve años, los cinco primeros eran los mismos que los del beneficiador de metales, pero en el sexto se cursaban materias de especialización y los tres restantes de prácticas.³³ La carrera de naturalista -con duración de siete años- cubría los seis primeros del ingeniero de minas y en el último cubrían cursos de botánica y zoología. Por último, la carrera de geógrafo tenía una duración de ocho años, los cuatro primeros eran los mismos que los del agrimensor, en los dos siguientes se cursaba cosmografía, geodesia, uranografía y geografía, y los dos últimos de prácticas.

Las carreras que ofrecía el colegio nuevamente cambiaron en 1858 por decreto del presidente interino Felix Zuloaga, quién a través de José María Saldívar, Ministro de Fomento, Colonización, Industria y Comercio, realizó los siguientes cambios. Fusionó las carreras de ensayador y apartador de oro y plata, en ensayador y apartador; eliminó la de naturalista; la de geógrafo se transformó en ingeniero geógrafo; al igual que la de agrimensor en ingeniero topógrafo o agrimensor.³⁴ Los estudios preparatorios se redujeron de tres a un año y se impartían fuera del colegio. Se estableció que el director no podía impartir cursos, se contrató un preparador de física y química que sería el sustituto de los profesores de estas clases. Se suprimió la clase de geografía por impartirse en las clases de astronomía, geología y física; se crearon las de mecánica racional e industrial, geometría descriptiva, principios de construcción y mecánica aplicada a las máquinas de minería, y topografía y geodesia.³⁵

³² Elementos de química general y aplicación de la parte inorgánica a la docimasia y metalurgia, delineación, inglés y práctica en la oficina de ensaye de la Ciudad de México y en el laboratorio.

³³ Las materias eran mineralogía, geología, explotación de minas, alemán y prácticas.

³⁴ Los cursos de botánica y zoología que se cursaban en la carrera de naturalista se integraron a la carrera de ingeniero de minas. Ver AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 72, fs. 86-87.

³⁵ La cátedra de mecánica aplicada a las máquinas de minería no tuvo alumnos inscritos, como tampoco los tuvo la clase de zoología cuyo profesor era Javier Llavo. En 1846 José Salazar Harregui propuso reestablecer la cátedra de geografía. En 1864 se establecieron dos nuevas clases: la de construcciones y la de esgrima. Ver AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 72, fo. 86-87, 166, 194 y 206.

La relación de contención que guardaban las carreras en 1843, respecto a que unas estaban contenidas en otras, aunque no se eliminó totalmente, se vio reducida. La carrera de referencia era la de ingeniero de minas, con una duración de ocho años. La de beneficiador de metales, también de ocho años, llevaba los mismos cursos que la del ingeniero de minas más una clase de "análisis química". La carrera de ingeniero geógrafo, con una duración de cinco años, cubría los cuatro primeros igual que el ingeniero de minas y el último de prácticas. La carrera de ensayador apartador constaba de cuatro materias y tres meses de prácticas.³⁶

Como vimos en el primer capítulo, el colegio se cerró y se abrió frecuentemente. En particular, en 1867 al establecerse el régimen republicano, el Ministro de Justicia e Instrucción Pública nombró a Blas Balcárcel director del colegio y le recomendó lo abriera lo más pronto posible, llamando a los profesores que habían dejado sus cátedras con la intervención extranjera y "fueron separados de los empleos que tenían los que habían servido en tiempo del llamado imperio". Esto produjo que quedaran vacantes en la mayor parte de las cátedras, las que debían ser asignadas nuevamente por oposición; pero debido a que éste procedimiento requería de mucho tiempo para llevarlo a cabo adecuadamente, se aprobó proveer las cátedras de manera interina por los alumnos y que después se cubrieran por oposición cuando el gobierno lo estimara conveniente.³⁷

Juárez realizó importantes reformas en lo que se refiere al campo de la educación. Formó una comisión para discutir las condiciones de la Ley de Instrucción, entre cuyos miembros se encontraban Francisco Díaz Covarrubias y Gabino Barreda.³⁸ Fue así como el 2 de diciembre de 1867 el ministro de justicia e instrucción pública, Antonio Martínez de Castro, expidió la Ley Orgánica de Instrucción Pública en el Distrito Federal. En especial estableció los estudios preparatorios y la Escuela de Ingenieros, la cual debía impartir las

³⁶ Las cátedras eran: matemáticas, física, química y docimasia. Ver AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 72, fs. 86-87.

³⁷ El 20 de julio de 1867, por decreto el Ministro de Relaciones Sebastián Lerdo de Tejada, se reestableció la Secretaría de Estado y del Despacho de Fomento y fue nombrado Blas Balcárcel Ministro de Fomento. El 6 de agosto se abrió nuevamente el colegio bajo el plan de estudios que estaba vigente el 31 de mayo de 1863. Ver CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y de asistencia, caja 14, exp. 1, fo. 1-2.

³⁸ Vazquez de Kanauth, J., *op. cit.*, pp. 47-49.

siguientes carreras: ingeniero de minas, ingeniero topógrafo e hidromensor, ensayador, beneficiador de metales, ingeniero geógrafo e hidrógrafo, ingeniero mecánico, e ingeniero civil (ver cuadro A.3).³⁹ Estas dos últimas carreras aparecieron por primera vez este año.

Bajo esta Ley de Instrucción se crearon más cátedras como conocimiento de materiales de construcción; mecánica de las construcciones; cálculo de las probabilidades aplicadas a las ciencias de observación, hidrografía y física del globo; puentes, canales y obras de los puertos; y caminos comunes y ferrocarriles (ver cuadro B.3).⁴⁰ La introducción de estas materias y la creación de las carreras de ingeniero mecánico e ingeniero civil, reflejan el cambio que se estaba propiciando en el país en el sector económico y político. Se había ampliado la relación comercial con Europa, especialmente en el consumo de materias primas y alimentos. Así también comenzó la inversión masiva de capitales en ferrocarriles, equipamiento portuario, empréstitos gubernamentales, modernización de los transportes fluviales y urbanos, entre otros.⁴¹

Juárez, con la idea de vincular el sector industrial con el sector educativo, decretó el 25 de noviembre de 1867, a través de Antonio Martínez de Castro, Ministro de Justicia e Instrucción Pública, las obligaciones de las empresas de ferrocarriles con los estudiantes y catedráticos del colegio. Se estableció:⁴²

a) Todas las empresas ferrocarrileras estaban obligadas a recibir a los estudiantes de escuelas nacionales para hacer sus prácticas y así obtener su título de ingenieros civiles, o de puentes y calzadas.

b) Los directores de los colegios nacionales elaboraban la lista de los estudiantes que saldrían a prácticas y se la presentaban al Ministerio de Instrucción Pública, el cual en colaboración con el Ministerio de Fomento lo dirigía a las empresas de los ferrocarriles.

³⁹ Barreda, G., *op. cit.*, pp. 71-74. Es importante señalar que Santiago Ramírez no menciona la existencia de las carreras de Beneficiador de Metales y de Ensayador mientras que en el texto de Barreda sí aparecen. Ver Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 489.

⁴⁰ CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y asistencia, caja 14, exp. 1, fo. 1-2; CESU, ENI, Administrativo, Personal, Nombramientos, caja 15, exp. 1, fo. 1-15.

⁴¹ Cardoso, C., *Coordinador de México en el siglo XIX (1821-1910)*, Editorial Nueva Imagen, 1981, p. 51.

⁴² CESU, ENI, Dirección, caja 2, exp. 3, fo. 29-35.

c) Los directores de las empresas tenían la obligación de atender y dirigir a los alumnos en sus prácticas y extender un documento del grado de aprovechamiento dirigido a la Secretaría de Fomento.

d) Las empresas ferrocarrileras debían alojar a los practicantes, en tanto que el gobierno proporcionaría alimentos únicamente a aquellos que por su conducta y aprovechamiento lo merecieran, los demás tenían que conseguirlos por su cuenta.

Los planes de estudios de las carreras que ofrecía el colegio en 1867 se distinguían de los anteriores por el hecho de que cada carrera poseía su propio plan de estudios; esto es, no tenía que recurrirse a los planes de otras para enumerar las materias que se tenían que cursar. Esto condujo a que cada una de las carreras empezara a adquirir una definición propia. Con las reformas que sufrió la Ley de Instrucción en 1869 se produjeron cambios en las carreras, desde la eliminación de las de ingeniero topógrafo e hidromensor y de beneficiador de metales, hasta la reaparición de otras como la de ingeniero geógrafo.⁴³

Revisando los planes de estudios de cada una de estas carreras (ver cuadro A.3 y A.4) se observa que la de ingeniero geógrafo e hidrógrafo contenía a la de ingeniero geógrafo, la diferencia radicaba precisamente en la especialización que de hidrógrafo poseía la primera. La carrera del ingeniero de minas, continuaba siendo la más larga, con seis años de duración (aumentó dos años más que en la ley del 67), mientras que la de ensayador era la que poseía el menor número de cursos.⁴⁴ Las recién creadas carreras de ingeniero civil e ingeniero mecánico no mostraban aún la solidez académica que alcanzarían durante los gobiernos de Manuel González y de Porfirio Díaz. Al menos, en lo que se refiere a la carrera de ingeniero mecánico, el contenido del plan de estudios demuestra el interés de formar profesionistas en este campo que brindasen apoyo técnico, en el sentido de que las

⁴³ Es probable que por los problemas económicos por los que constantemente atravesaba el colegio, todas las carreras tuvieron muchas materias básicas en común, como se muestra en el cuadro A.3. Ver CESU, ENI, Asuntos escolares, Correspondencia, caja 27, exp. 2, fo. 3. Además CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 19, exp. 2, fo. 7-8.

⁴⁴ Con la suspensión de la carrera de ingeniero topógrafo e hidromensor, se introdujo, en las carreras de ingeniero de minas, ingeniero civil e ingeniero geógrafo e hidrógrafo, con carácter de obligatoria, la cátedra de topografía y dibujo topográfico. Aparentemente la carrera de topógrafo se restableció al año siguiente. Ver CESU, ENI, Asuntos escolares, Prácticas de alumnos, Organización, Lista de practicantes, caja 29, exp. 2, fo. 2-5.

materias que cursaban permitían entender y describir el funcionamiento de las máquinas, dejando a un lado el proceso de su construcción, el cual se introducirá en las dos últimas décadas del siglo XIX.⁴⁵ Durante este régimen el colegio adquirió presupuesto para establecer un laboratorio metalúrgico, para prácticas y para adquirir muebles e instrumentos entre otros materiales.⁴⁶

En 1873, los profesores, el director y los empleados del colegio protestaron guardar las adiciones y reformas hechas a la Constitución Política por el Soberano Congreso de la Unión.⁴⁷ Durante el régimen de Díaz, Antonio del Castillo, como director de la ya transformada Escuela Especial de Ingenieros, propuso en 1877 la creación de la carrera de ingeniero arquitecto, y el proyecto del plan de estudios de la Escuela de Ingenieros. La Secretaría de Estado y del despacho de Justicia e Instrucción Pública aprobó el proyecto, de esta manera las materias cubrían de 4 horas y media a 5 por semana, excepto por la de química aplicada y análisis "química" que cubría 6 horas.⁴⁸ Aún como director, Antonio del Castillo propuso en 1879 que la Escuela de Ingenieros fuera la única en el Distrito Federal, facultada por la Ley de Instrucción Pública para expedir títulos de ingeniería.⁴⁹

Bajo el régimen de Manuel González, y por decreto, en 1881 el colegio pasó a depender de la Secretaría de Fomento. Con esto el colegio recibió un fuerte incremento en su presupuesto, ya que la Secretaría de Fomento era de las más importantes.⁵⁰ Un año después, a petición del director Antonio del Castillo, se otorgaron aumentos en los gabinetes de química, topografía y astronomía.⁵¹ Dos años después se iniciaron los proyectos de instalación del alumbrado eléctrico en el edificio, así como instalaciones

⁴⁵ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 19, exp. 2, fo. 7-8.

⁴⁶ El director Blas Balcárcel, a través del Ministerio de Justicia Instrucción Pública, destinó 5,200 pesos para esto y para establecer la Escuela Práctica de Minas de Pachua. Ver CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 27, exp. 5, fo. 40-54.

⁴⁷ Firmaron B. Balcárcel, A. Castillo, Eduardo Garay, J. Díaz, M. Fernández, Alcerreca, Leandro Fernández, Agustín Díaz, F. Bulnes, R. Tamayo, José M. Lizar, F. de Guray, Fco. Chavero, Eleuterio Mendez. Ver CESU, ENI, Administrativo, Personal, Correspondencia, caja 14, exp. 2, fo. 4-5.

⁴⁸ *Diario Oficial*, 16 enero 1877; CESU, ENI, Asuntos escolares, Correspondencia, caja 27, exp. 3, fo. 4.

⁴⁹ CESU, ENI, Asuntos escolares, Correspondencia, caja 27, exp. 3, fo. 5-6.

⁵⁰ También el ejército quedaba facultado para hacer las reformas que considerara pertinentes a la Escuela de Ingenieros. Ver Bazant, M., 1992, *op. cit.*, pp. 173-175. Ver además, CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 2, exp. 13, fo. 88-119.

⁵¹ CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 12, exp. 9, fo. 66-77.

eléctricas y un taller de maquinaria modelo para que los alumnos realizaran sus prácticas.⁵² En 1883 Antonio del Castillo decidió trasladar a la Escuela los dos meteoritos más grandes del mundo localizados en Chupaderos, Chihuahua.⁵³ Cuatro años después se instaló un pararrayos en el Observatorio Meteorológico para proteger los instrumentos y aparatos de las descargas eléctricas.⁵⁴

En 1883 Manuel González, por decreto, reformó la Ley de Instrucción Pública. Se estableció la Escuela Nacional de Ingenieros y la Escuela Nacional de Agricultura (en ésta se impartían las carreras de ingeniería agrónoma y médico veterinario) y se anexaban las haciendas-escuelas de enseñanza minera y metalúrgica, que aunque eran centros de enseñanza práctica también se impartían los estudios teóricos indispensables de una manera elemental. Tal era el caso de la aritmética, álgebra, geometría, trigonometría, física (mecánica), química, metalurgia y laboreo de minas, contabilidad, administración y economía de minas y haciendas de beneficio, español y dibujo lineal, con sus respectivas aplicaciones. En lo que se refiere a la Escuela de Ingenieros, se estableció como requisito de inscripción el presentar el certificado de la Escuela Nacional Preparatoria. Surgió así la necesidad de formar el gabinete de conocimiento de materiales de construcción, por lo que se iniciaron las gestiones correspondientes.⁵⁵

⁵² El 3 de julio de 1883, la sección 4a. del Ministerio de Fomento solicitó a Antonio del Castillo, Director de la Escuela Nacional de Ingenieros, remitiera a esa Secretaría un calca del plano del edificio de la escuela para la instalación del alumbrado eléctrico. Por disposición del Presidente de la República se introdujeran tanto instalaciones eléctricas como un taller de maquinaria modelo para instruir a los alumnos en la práctica, adquiriendo conocimientos completos que les permitieran dirigir las obras públicas o particulares. Para el taller se pidió una fundición pequeña para derretir y fundir metales y composiciones, una fragua de herrería, un taller de labrar madera, un taller de maquinaria, y un departamento para platear y pulir metales. Con esto se podrían construir dinamos, lámparas eléctricas, instrumentos ópticos, maquinaria experimental, etc. El alumbrado de todo el edificio necesitaría 15 lámparas de arco y 300 luces incandescentes, éstas necesitarían una máquina de 80 caballos. La máquina y calderas necesitarían un espacio de 36 pies de largo y 36 de ancho y 16 de alto, los dinamos necesitarían un lugar de 30 pies de largo y 20 de ancho. Se estimó un costo de 45,000 pesos: luces eléctricas con maquinaria completa, 30,000 y maquinaria de los talleres 15,000. Dichas indicaciones fueron elaboradas por Nathan Crowell. Ver CESU, ENI, Administrativo, Solicitudes externas, caja 16, exp 18, fo 101-107.

⁵³ En 1889 se exhibieron en la Exposición Universal de París modelos de las masas en papel "mache", y hasta 1892 se logró su traslado al edificio de Minería, donde el ex-preparador de análisis químico Baltazar Muñoz mediante un estudio y un análisis de algunos fragmentos llegó a la conclusión de que eran las masas de hierro meteórico más grandes del mundo. Ver CESU, ENI, Académico, Convenciones, exposiciones y estudios, caja 18, exp 3, fo 37-48.

⁵⁴ CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Solicitudes de gastos, caja 13, exp. 30, fo. 150-151.

⁵⁵ En los estudios preparatorios también se hicieron modificaciones, en lo que se refiere a las cátedras de física, se enseñaban dos: física y elementos de mecánica racional. Ver CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 19, exp. 7, fo. 106-108.

Con la reforma de la Ley de Instrucción Pública se cambió la estructura de la Escuela de Ingenieros y repercutió no sólo en la creación de nuevas profesiones, sino también en el fortalecimiento académico de las ya existentes, propiciado a través de una redistribución de materias.⁵⁶ Por ejemplo, cátedras que en 1869 eran exclusivas para determinadas carreras como mecánica de las construcciones, conocimiento de materiales de construcción, estereotomía y carpintería, topografía e hidromensura y química analítica, entre otras, ahora se extendía su enseñanza a otras carreras. De esta manera se mejoraron los planes de estudios de las carreras de ingeniero geógrafo, ingeniero de minas y metalurgista, ingeniero industrial, ingeniero de caminos, puertos y canales. Es probable que para denotar estos cambios se cambiaron los nombres de estas tres últimas carreras. El carácter de hidrógrafo que tenía el ingeniero geógrafo en 1869, ahora se integraba al del topógrafo. La carrera de ensayador y apartador de metales no sufrió cambios considerables.

Por primera vez aparecía la carrera de telegrafista, lo cual refleja la necesidad de contar con profesionistas que apoyaran el desarrollo importado del sector de las comunicaciones. Para ello se creó la cátedra de telegrafía (como se muestra en el cuadro B.4).⁵⁷

En la Escuela de Ingenieros se establecieron dos tipos de estudiantes, los alumnos propietarios, que eran aquellos que cursaban la carrera y los supernumerarios, es decir, para los que sólo acreditaran materias. Las clases se impartieron de manera pública y gratuita, a las que podían asistir todos los que desearan hacerlo. Hubo un cambio favorable en los salarios respecto a los años anteriores, las remuneraciones de los profesores que impartían cursos prácticos ahora era mayor (ascendió a 2,400 pesos anuales, y para los de los cursos teóricos fluctuaba entre 1,200 y 1,800 pesos y, por último, entre 1,000 y 1,200 pesos para los de dibujos e idiomas). Además, todo profesor propietario estaba obligado a escribir el texto de las materias que impartía y dependiendo de la calidad de la obra el gobierno

⁵⁶ Si comparamos el cuadro B.3 con el cuadro B.4, se observa que en cantidad el número de materias que se impartieron durante el régimen de Juárez y el primer periodo de Díaz no varía demasiado respecto del de González. Ver Barrera, G., *op. cit.*, pp. 71-74; CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, caja 19, exp. 2, fo. 7-8; CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 2, exp. 18, fo. 139-141.

⁵⁷ Aunque hay otras fuentes originales que no mencionan la creación de la cátedra de telegrafía en 1883 como: CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y de asistencia, caja 15, exp. 6, fo. 263-265.

decidía si la imprimía, le compraba la "propiedad literaria" (derechos de autor) o, en su caso, le asignaba un premio.⁵⁸

En 1884 apareció una propuesta de fusionar algunas carreras; entre ellas, las carreras de ingeniero topógrafo e hidrógrafo y la de ensayador y apartador de metales se integrarían a la de ingeniero civil. De esta manera sólo se impartirían tres carreras, ingeniero de minas, ingeniero civil e ingeniero electricista.

En 1888 el ingeniero profesor de telegrafía general presentó a la Dirección de la Escuela Nacional de Ingenieros el proyecto para la creación de la carrera de ingeniero electricista. Esta carrera sustituiría la de telegrafista, y la clase de electricidad sería obligatoria para los ingenieros en minas, civiles e industriales. Como justificación del proyecto menciona las aplicaciones tanto científicas como industriales de la electricidad, sin descartar la explotación de las riquezas mexicanas. Entre las aplicaciones destaca en las minas el alumbrado eléctrico, para acarrear metales, para el desagüe, la ventilación, etc. En los tranvías y ferrocarriles eléctricos, la comunicación telegráfica y telefónica de los trenes en movimiento. En electrometalurgia, transporte y distribución de la fuerza motriz, alumbrado aplicado a las fábricas y talleres. Para la escasez de combustible que existía en el país se proponía usar la fuerza de las caídas de agua y las corrientes del viento. En consideración de estas razones, el 31 de mayo del siguiente año el Secretario de Estado y del Despacho de Fomento, por decreto del presidente Porfirio Díaz, creó la carrera de ingeniero electricista y suprimió la de telegrafía general.⁵⁹ En el apéndice C, se presenta con mayor detalle el proyecto que elaboraron Mariano Villamil y Alberto Best en 1891.

Para estos años el Colegio de Minería se había convertido en un colegio tan ejemplar que otros Estados intentaron reproducirlo. Por ejemplo, en 1889 el Sr. González

⁵⁸ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 2, exp. 18, fo. 139-141.

⁵⁹ En 1889 se dio una epidemia de viruela. En junio se le comunicó al director Antonio del Castillo que todos los alumnos debían vacunarse, para evitar su propagación. Es probable que esto haya causado constantes faltas de los profesores, lo que condujo a que se aplicaran medidas rígidas de control de asistencias. En este año murió Francisco Díaz Covarrubias, profesor durante 8 años del curso de geodesia y astronomía, quien escribió un texto para el curso y el de topografía "de una manera adecuada a las necesidades del país". Su libro de texto, a diferencia de muchos otros libros escritos en México, se continuó utilizando durante varios años. Ver CESU, ENI, Académico, Actos culturales, caja 17, exp. 6, fo. 12-13; CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 29, fo. 196-202. Además la caja 3, exp. 30, fo. 196-220.

de Cosío, gobernador del Estado de Hidalgo, y A. E. Hernández, oficial mayor, solicitaron al Secretario de Fomento un informe del programa de estudios y las obras de texto que se requerían para establecer la carrera de Ingeniero mecánico. Como la Escuela de Ingenieros impartía la carrera de ingeniero industrial, les envió las copias correspondientes a ésta carrera.⁶⁰

Durante el segundo periodo del régimen porfirista se aumentó el número de los cursos (como se puede ver en los cuadros B.4 y B.5). Se introdujeron cursos de electricidad en todas las carreras que se impartieron en 1889 (como se muestra en el cuadro A.5).⁶¹ De hecho, la creación de la carrera de ingeniero electricista coincidió con la introducción al país del motor eléctrico en los sectores productivos, en particular en el minero, ya que se utilizó para extraer el mineral; e incluso la electricidad se introdujo en el beneficio del mismo. Todo esto propició un aumento en la producción de los minerales.⁶²

En 1890, Daniel Palacios, profesor de construcción y establecimiento de máquinas de la Escuela de Ingenieros, al ser comisionado para elaborar el programa de estudios de la carrera de maquinista y para crear una Escuela Práctica de Maquinistas Especialista, entregó a la Secretaría de Fomento su propuesta a dicho proyecto.⁶³ Fue a finales de este año, que por decreto del presidente Porfirio Díaz, se estableció la carrera de maquinista práctico. En el apéndice C se encuentran los objetivos y el plan de estudios de dicha carrera⁶⁴. Al año siguiente, la Escuela solicitó presupuesto para cubrir sus gastos. Aunque en 1891 ya estaba próxima a abrirse esta Escuela Práctica de Maquinistas no contaba con un local, y se le autorizó el de la Sociedad de Geografía y Estadística.⁶⁵ Esta Escuela se creó con recursos de la Secretaría de Fomento y con la asesoría de estadounidenses, adquirió importancia y cierta demanda gracias al crecimiento de la red ferroviaria que requería operarios nacionales para el manejo del sistema.⁶⁶

60 CESU, ENI, Académico, Planes y Programas de estudio, Cursos, caja 19, exp. 14, fo. 359-365.

61 CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 30, fo. 200-202.

62 Nava Oteo, G., "La minería bajo el porfirato", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso Coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1981, pp. 339-379.

63 CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 16, fo. 509-516.

64 CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 33, fo. 250-288.

65 CESU, ENI, Asuntos Escolares, Correspondencia, caja 27, exp. 9, fo. 39-41.

66 Moles, A., et al., 1991, *op. cit.*, p. 154.

Por una ley expedida el 15 de febrero de 1883 se decidió que aquellos cursos que tuvieran menos de dos alumnos inscritos no se podrían impartir. Esto llevó a que algunos profesores solicitaran que se les pagara su sueldo aunque se les asignaran otras actividades, petición que fue rechazada.⁶⁷ Asimismo se cambiaron las modalidades de los premios: en lugar de otorgárselos a los mejores alumnos de cada materia, cambiaron a los mejores alumnos de cada año en cada carrera.⁶⁸

Debido a una disposición del Supremo Gobierno que obligaba a los profesores a redactar los libros de texto para sus cursos, se redactaron varias obras. Por ejemplo, José María César, profesor de metalurgia, redactó *Docimasia y metalurgia práctica* (1877); Francisco Chavero, profesor de teoría mecánica de las construcciones, escribió *Teoría mecánica de las construcciones*;⁶⁹ Daniel Palacios, profesor de construcción y establecimiento de máquinas, redactó *Tratado práctico sobre calderas de vapor* (1890);⁷⁰ Francisco Díaz Covarrubias escribió *Análisis trascendente, Cálculo infinitesimal, Geodesia y astronomía y Topografía*, entre otras.

En 1892 Manuel María Contreras fue comisionado por el Presidente de la República para estudiar la situación del colegio y hacer las reformas que considera pertinentes para mejorarlo. Sugirió, entre otras cosas, que los profesores escribieran los libros de texto para los cursos, los cuales serían revisados por los profesores de materias compatibles para tener una opinión consensuada.⁷¹ Insistía en que los cursos deberían de ser primordialmente prácticos y no teóricos -como era el caso-, y que aquellos que tuviesen un sólo alumno

⁶⁷ CESU, ENI, Administrativo, Personal, Licencia y concesiones, caja 14, exp. 3, fo. 6-12.

⁶⁸ Así fue como Manuel Camborrel ganó el primer premio del primer y único año de la carrera de ensayador y apartador de metales y Marcelo Peña el segundo premio; Jesús Urias ganó el segundo premio del primer y único año de la carrera de ingeniero telegrafista; Jorge Zapata ganó el segundo premio del segundo año de la carrera de ingeniero topógrafo. El premio otorgado consistía en libros y dinero. Ver CESU, ENI, Asuntos escolares, Premios a alumnos, caja 33, exp. 3, fo. 11-13.

⁶⁹ CESU, ENI, Académico, Publicaciones, caja 23, exp. 1, fo. 1-7.

⁷⁰ *Ibid.*, fo. 19-32.

⁷¹ En 1903 Adolfo Díaz Rugama había escrito un *Tratado de Cálculo de las Probabilidades y teoría de los errores*, por lo que el Director Manuel Fernández solicitó a Ezequiel A. Chávez, Secretario de Justicia e Instrucción Pública, su impresión para utilizarlo como libro de texto del curso respectivo. Sin embargo, su solicitud fue negada por falta de fondos. Ver CESU, ENI, Académico, Publicaciones, caja 23, exp. 5, fo. 173-178.

inscrito fuesen suspendidos.⁷² A su vez, se decidió simplificar y perfeccionar los programas de los cursos para evitar repeticiones de contenidos. Respecto a los profesores se les exigió que presentaran su título profesional como requisito para impartir sus cursos; esto causó algunas protestas porque serían cesados muchos profesores competentes por no estar titulados; también se propuso aumentarles el sueldo a algunos y disminuirse los a otros, dependiendo de la cátedra que impartieran.⁷³ Este mismo año, Antonio del Castillo propuso que la materia de mineralogía, geología y paleontología se dividiera en tres cursos diferentes porque el programa era tan extenso que era difícil cubrirlo.⁷⁴ De la misma manera, mencionó la necesidad de levantar un horno para complementar los estudios relacionados con la metalurgia del hierro.⁷⁵

En 1892 se estudió el estado de cada una de las carreras que se impartían en la Escuela de Ingenieros y se optó por que algunas no fuesen consideradas como profesiones. Tal fue el caso del ensayador y apartador de metales, del ingeniero electricista y del ingeniero topógrafo e hidrógrafo. Alberto Best, catedrático del segundo curso de electricidad, al no estar de acuerdo con dicha selección afirmó que en particular la carrera de ingeniero electricista debía ser tomada en cuenta por el gobierno, porque:

La formación de ingenieros electricistas no tardaría en hacer ver las grandes ventajas que el Gobierno podría obtener al confiar a dichos ingenieros el servicio de sus telégrafos, los que a pesar del adelanto que en nuestro país han llegado, podrían aún ser mejorados notablemente aprovechando los adelantos modernos. Las empresas particulares de cualquiera clase relativas a la electricidad tales como el alumbrado, la transmisión de la fuerza, la tracción eléctrica y otras que tanto se han generalizado ya y que es seguro pronto entrarán en nuestro país como una nueva industria encontrarán también una eficaz ayuda y grandes facilidades si desde ahora se forma debidamente la carrera de ingeniero electricista.⁷⁶

Las carreras que sí se consideraban como profesiones eran las de ingeniero industrial; ingeniero de caminos, puertos, canales y construcciones civiles; ingeniero de minas y metalurgista; e ingeniero geógrafo y astrónomo.⁷⁷ Como no se especifican los

72 Por esta razón se suspendieron las siguientes cátedras: geodesia y astronomía práctica, la de mecánica celeste y astronomía física, la de química industrial, la de construcción y establecimiento de máquinas. Ver CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 9, fo. 104.

73 CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 105-398.

74 CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 17, fo. 517-520.

75 CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 105-398.

76 *Ibidem.*

77 *Ibidem.*

critérios para elaborar esta distinción, es factible pensar que tal decisión se llevó a cabo porque la mayor parte de los cursos que integraban dichas carreras estaban contenidos en otras, como ya se mencionó anteriormente. En general las carreras sufrieron una reorganización académica: a algunas se les redujeron los cursos, como fue el caso de ingeniero industrial y ensayador y apartador de metales; a otras se los aumentaron, como al ingeniero geógrafo y astrónomo y el ingeniero de caminos, puertos y canales; mientras que otras, como la carrera de ingeniero de minas y metalurgista, permanecieron prácticamente igual (ver cuadros A.4 y A.6).

En lo que se refiere a la carrera de ingeniero industrial, Manuel Contreras opinaba que era "tan poco el aliciente" que ofrecía esta carrera que pocos alumnos se inscribían a las cátedras de mecánica y química industrial (al menos durante 1890 y 1891). Por lo que propuso que para disminuir la deserción de alumnos se disminuyera la instrucción teórica y con esto el espíritu especulativo, y mejor se fomentara la práctica. Insistía en que una de las diferencias que presentaba esta profesión respecto a las demás era que sus egresados tenían que buscar empleo en las instituciones particulares y no en el gobierno, como era el caso del topógrafo. Algo similar ocurría con la carrera de ingeniero electricista, ya que pocos alumnos presentaron examen en los dos cursos de electricidad, por lo que se propuso que se fomentara la asistencia a conferencias y a materias donde los alumnos no presentaran examen.

En 1892 la Junta de Profesores propuso al director Antonio del Castillo se estableciera una clase de ingeniería legal en la escuela, con el objeto de dar apoyo e información legal a los ingenieros, principalmente al agrimensor, a los civiles, arquitectos y mineros.⁷⁸

Con la creación de la carrera de ingeniero arquitecto en 1893, se modificó el plan de estudios de la carrera de ingeniero de minas, creándose nuevas materias que se debían cursar (como conocimiento de materiales de construcción, estereotomía, carpintería, mecánica analítica, mecánica aplicada, teoría mecánica de las construcciones, construcción

⁷⁸ CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 11, fo. 399-404.

práctica y dibujo arquitectónico). Era tan esencial que los ingenieros de minas se formaran en tales temas, que la Secretaría de Gobernación solicitó al director del colegio la lista de los nombres de los ingenieros de minas titulados para obligarlos a cursarlas o de otra manera serían considerados como "ingenieros de segunda". En ese mismo año la Secretaría de Fomento, con el interés de organizar un nuevo plan de trabajo, expidió una nueva ley de instrucción pública en la cual se anexaba una nueva carrera: la de ingeniero arquitecto.

En los últimos años del siglo XIX el Presidente de la República aprobaba, cada año, los programas de los diferentes cursos de la Escuela.⁷⁹ Los profesores revisaban anualmente los programas y los textos de sus respectivas materias y en caso de registrarse cambios, éstos eran enviados al director, el cual los hacía llegar a la Secretaría de Justicia e Instrucción Pública que los publicaba en su Revista de la Instrucción Pública Mexicana.⁸⁰ Estas alteraciones que se hacían tanto en el programa de cada materia como en el Plan de Estudios, llegó a afectar -en algunas ocasiones- a los estudiantes, debido a que al solicitar su título resultaba que habían cursado materias que en ese momento ya no existían y les faltaban cursar otras que en los planes de estudio originales no aparecían. Era este un problema tan persistente que para resolverlo se acordó otorgarles el título respetando el plan de estudios con el cual habían ingresado.⁸¹

En 1895 el director Miguel Bustamante propuso al Secretario de Justicia e Instrucción Pública que se modificara el sistema de exámenes. Se empezaría con evaluar mediante un examen cada una de las prácticas, de manera que en cada materia se evaluaría tanto la teoría como la práctica, y sólo aprobando ambas se pasaría al siguiente curso. También buscaba que los exámenes profesionales se evaluaran en dos actos: el primero cubriendo cuestiones teórico-prácticas, y el segundo presentando un trabajo práctico en el tiempo señalado por el jurado, el cual debía adjuntar los planos, los cálculos y una memoria que reemplazaría a la tesis que se acostumbraba. Así fue como se establecieron las

79 CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 20, fo. 522-294.
80 CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 21, fo. 595-634.
81 CESU, ENI, Asuntos escolares, Correspondencia, caja 28, exp. 13, fo. 65-70.

condiciones de presentación de exámenes profesionales para los ingenieros topógrafo e hidrógrafo, industrial, de caminos, puertos y canales, de minas y metalurgia y geógrafo.⁸²

En 1895 los alumnos sólo presentaron exámenes en las siguientes carreras: ensayador y apartador de metales, ingeniero topógrafo e hidrógrafo, ingeniero de minas y metalurgista, ingeniero industrial e ingeniero de caminos, puertos y canales. Para este año no se mencionan las carreras de ingeniero electricista, ni ingeniero geógrafo ni ingeniero arquitecto.

El 15 de septiembre de 1897 el presidente Porfirio Díaz decretó la Ley de Enseñanza Profesional de la Escuela Nacional de Ingenieros, en la cual se especificaba tanto el total de los cursos como el de las carreras que se impartirían en la Escuela de Ingenieros. Se definió el plan de estudios de cada carrera. En particular la carrera de ingeniero de caminos, puentes y canales cambió a la de ingeniero civil; desapareció la carrera de ingeniero arquitecto y nuevamente cambió la carrera de telegrafista por ingeniero electricista.⁸³ Se estipuló que los extranjeros que desearan ejercer legalmente en México su profesión debían presentar un examen en la Escuela de Ingenieros. Se estableció que los profesores debían presentar al director cada mes de julio los programas y los textos correspondientes a cada materia;⁸⁴ que la enseñanza de los cursos debía ser rigurosamente teórico-práctica;⁸⁵ y que todos aquellos que desearan concurrir a las clases lo podían hacer siempre y cuando se sujetaran al Reglamento interior de la Escuela. También se produjeron cambios en los cursos. La materia de *economía política* se generalizó a todas las carreras.⁸⁶ Surgió la cátedra de *hidráulica e ingeniería sanitaria*, impartida por Mateo Plowes a los ingenieros civil, industrial y de minas y metalurgista.⁸⁷ El curso de metalurgia que se impartía a los

82 CESU, ENI, Asuntos escolares, Calificaciones y exámenes, caja 25, exp. 39, fo. 189-227.

83 CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 18, fo. 520 bis.

84 *Ibidem.*

85 *Ibidem.*

86 Esta clase la impartió Joaquín D. Casaus desde 1887, lo extraño es que apareció en el Plan de Estudios hasta 1897, como se muestra en el cuadro B.4 y A.8. También la cátedra de estática gráfica se creó en 1887. Ver CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 18, fo. 520.

87 CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 18, fo. 520 bis; CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Presupuestos, caja 12, exp. 25, fo. 114-121.

ingenieros de minas y metalurgista, se puso énfasis en estudiar lo concerniente a los metales de mayor explotación en el país.

En general la estructura académica que adquirieron los planes de estudios de las diversas carreras a finales del siglo XIX superó a las anteriores. Se continuó con el sistema de contar con una serie de materias básicas que compartían la mayor parte de las carreras y con materias especializadas que se impartían a las profesiones correspondientes.

IV. LA FÍSICA EN LA FORMACIÓN DE LOS INGENIEROS

4.1. Trayectoria y descripción del contenido de las cátedras de física

Desde la fundación del Colegio de Minería, la asignatura de física se consideró como una de las cuatro cátedras científicas indispensables en la formación de los peritos facultativos en minas. La importancia de la física dentro de la actividad minera radicaba primordialmente en utilizar los conocimientos de la mecánica newtoniana para conocer el funcionamiento y el uso de las máquinas que se manejaban en las distintas etapas que conformaban el proceso de producción de los minerales. A finales del siglo XVIII estos principios se llegaron a utilizar para construir dichas máquinas, debido a las dificultades que existían tanto para trasladar las máquinas importadas de Europa como para adecuarlas a las condiciones locales de la Colonia.¹

Conforme se fueron creando nuevas profesiones a lo largo del siglo XIX y gracias al avance que la física experimentó en diversos campos, se introdujeron en los planes de estudios nuevas cátedras de física, que además de ser las tradicionales de mecánica, ahora incluían otras áreas como la termodinámica, la electricidad y el magnetismo. A pesar del incremento numérico de este tipo de materias se conservó el carácter práctico inicial de la física; esto es, utilizar los principios fundamentales de esta disciplina para determinar el funcionamiento e incluso llegar a construir una máquina o un instrumento. La mayor parte de las cátedras se crearon después de la restauración de la República, momento a partir del cual el país entró en una paz relativa que permitió poner en marcha varios proyectos de modernización, uno de los cuales fue la industrialización del país. Por esta razón, las máquinas e instrumentos de finales del siglo decimonónico estaban lejos de ser los mismos que los del siglo XVIII; además, la introducción de las máquinas no sólo se limitó a la industria metalúrgica, sino que también abarcaba a las industrias manufacturera, agrícola, de transportes y alumbrado eléctrico.

¹ Ramos Lara, M.P., Saldaña, J.J., "Difusión de la mecánica newtoniana en la Nueva España", en *Mundialización de la ciencia y cultura nacional*, Actas del Congreso Internacional 'Ciencia, descubrimiento y mundo colonial', Universidad Autónoma de Madrid, Ed. Doce Calles, España, 1993, pp. 325-329.

El Colegio de Minería no podía menos que ser testigo de esta transformación. A finales del siglo XVIII el gabinete de física poseía balanzas, barómetros, termómetros, máquinas hidráulicas y neumáticas, entre otros instrumentos, mientras que a finales del siglo XIX se tenían máquinas de vapor, motores eléctricos, turbinas, voltímetros, galvanómetros, aparatos telegráficos, pararrayos, etcétera. Los profesores de las diversas cátedras de física realizaban sus prácticas en los establecimientos industriales y fábricas cercanas a la ciudad para que al finalizar sus cursos los alumnos reconocieran la importancia que revestía en el ámbito económico el saber utilizar los principios básicos de la ciencia. Con esto los ingenieros egresados del colegio ampliaron profundamente, respecto al siglo XVIII, sus funciones y su participación en industrias de la más diversa índole y en proyectos de carácter nacional, con el firme propósito de mejorar las condiciones económicas de ambos sectores.

El laboratorio en la enseñanza de la física era indispensable, ya que ésta se basaba en los hechos y en las experiencias; aunque ésta no era la única forma de aprender, puesto que además de la observación el conocimiento era adquirido por medio del análisis de la generalización y de la inducción. A esto se sumaba el que los profesores ponían particular énfasis en que los contenidos no fueran aprendidos de memoria, sino comprendidos a través del estímulo de la abstracción o de la deducción, porque los estudiantes tendían a memorizar las fórmulas y leyes en lugar de razonarlas. El profesor tenía también la opción de impartir su curso siguiendo un libro de texto o elaborando notas obtenidas de la consulta de varios libros, esto en los casos de que ningún libro se adecuara al contenido de la clase.²

Los profesores de las cátedras de física fueron todos egresados tanto del Colegio de Minería como de la Escuela de Ingenieros. Los primeros, como es de esperarse, se recibieron de ingenieros de minas; no obstante conforme fueron aumentando las carreras se integraron al cuerpo docente de los cursos de física alumnos titulados en diversas profesiones, como Eduardo Garay que se recibió de ensayador en 1868; Francisco Rodríguez Rey obtuvo los grados de ensayador y topógrafo e hidrógrafo en 1872 y 1878,

² Bazant, M., *Debate pedagógico durante el Porfiriato*, Secretaría de Educación Pública, México, 1985; Alighiero, M., *Historia de la educación 2, del 1500 a nuestros días*, Editorial Siglo XXI, México, 1987.

respectivamente; Miguel Bustamante quien obtuvo el título de ingeniero de minas y metalurgista en 1890; José María Velázquez se tituló de topógrafo e hidromensor e ingeniero civil en 1878 y 1879, respectivamente; y Mariano Villamil que estudió tres carreras, ensayador en 1866, ingeniero topógrafo e hidrógrafo y telegrafista e ingeniero electricista en 1886.³ La mayor parte de los profesores se unieron en esta situación de impartir alguna materia que no cursaron como estudiantes, debido a que era la primera vez que se creaban, así que tuvieron que aprender el contenido de algunas de sus cátedras de manera autodidacta.

Vimos en el segundo capítulo como algunos ingenieros que egresaron del Colegio de Minería llegaron a ocupar cargos públicos que les fueron útiles para promover el desarrollo de la ciencia, como fue el caso de la geología y la meteorología. Aunque algunos catedráticos de física llegaron también a ocupar cargos públicos no hay evidencias de que hayan aprovechado esta situación para impulsar el desarrollo teórico de la física. Por ejemplo, Manuel Ruiz de Tejada, catedrático de física ocupó el cargo de diputado en 1822, y Juan Barquera, catedrático de mecánica racional e industrial de minas y civil, ocupó el cargo de subsecretario de Instrucción Pública y Cultos en 1866.⁴ Joaquín Velázquez de León también fue catedrático de física en 1833 y de mecánica racional e industrial en 1863, y llegó a ser ministro de fomento en 1854. Dentro de los objetivos de esta investigación se encuentra el explicar el por qué de esta situación.

Esta sección se refiere a la evolución académica que tuvieron las diversas cátedras de física que se fueron creando durante el siglo XIX. Para lograr este objetivo es necesario insistir que se entiende por una *cátedra de física* aquel curso que para impartirse en su totalidad, requiere en todo momento del manejo de los conocimientos fundamentales de la física. Es así como se dejan a un lado los cursos que sólo necesitaban estudiar física para cubrir un tema, una sección o una parte del curso.

³ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 39, fo. 311-320.

⁴ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 475.

4.1.1. Física experimental

Al crearse el Colegio de Minería, el director Fausto de Elhuyar contrató al español Francisco Antonio Bataller para impartir la cátedra de física. Bataller estudió física en el Colegio de San Isidro en Madrid, mismo donde la impartió durante algún tiempo. En el Colegio de Minería escribió el libro *Principios de Física Matemática y Experimental*,⁵ el cual no se llegó a imprimir por alguna razón que desconocemos. El libro se divide en cuatro tratados que llevan por título:

Tratado I.- *De las Propiedades de los Cuerpos*

Tratado II.- *De la Mecánica de los Sólidos*

Tratado III.- *De la Hidrodinámica*

Tratado IV.- *De la Óptica*

Su libro refiere al estudio de la mecánica newtoniana y a la manera de aplicar ésta teoría al uso de la minería.⁶ Al morir Bataller en 1800 ocupó su lugar Salvador Sein, éste decidió cambiar el libro de texto e introdujo el *Tratado elemental o principios de física* de Brisson, obra que se acababa de traducir al castellano.⁷ El nivel de la obra de Brisson no es mayor que la de Bataller; incluso la de éste último tiene una connotación matemática mayor. La diferencia radica en el número de volúmenes y por lo tanto en la amplitud del contenido. Quizás no le alcanzó la vida a Bataller (de ahí que su tratado quedara como manuscrito) para abordar temas que Brisson estudió en su libro y que estaban relacionados con el fuego, la astronomía, la electricidad, el magnetismo, la fisicoquímica, además de la tradicional mecánica newtoniana y los estudios de la luz.⁸

⁵ Bataller, F. A., *Principios de Física Matemática y Experimental*. Tratado I, II, III, y IV, México, 1802, MS 1511, 1512, 1513, y 1514, FRBN.

⁶ Ramos Lara, M. P., "La Nueva Física y su relación con la actividad minera en la Nueva España", en *Los Orígenes de la Ciencia Nacional*, Editor Juan José Saldaña, Cuadernos de Quipu 4, Sociedad Latinoamericana de Historia de la Ciencias y la Tecnología, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1992, pp. 99-140.

⁷ La traducción la llevó a cabo el español Julián Antonio Rodríguez y se publicó en las *Gacetas de Madrid* en 1804 para difundirlo. El Colegio de Minería en particular pidió 24 ejemplares. Ver AIHPM, M.L.91.B., Minería informes 1801-1808.

⁸ Brisson era miembro del Instituto Nacional de Ciencias y Artes y profesor de las escuelas centrales de París. Ver Brisson, C., *Tratado Elemental o Principios de Física*, Traducido al castellano por Julián Antonio Rodríguez, Imprenta

En 1804 enfermó Salvador Sein y lo suplió temporalmente el ayudante y después catedrático de matemáticas Juan José de Oteiza.⁹ En agosto de 1809 se solicitó al médico Luis Montaña que reconociera a Sein y certificara el estado de su salud. El médico diagnosticó que se trataba de demencia, por lo que se declaró vacante la cátedra de física y se le suspendió la contribución de medio sueldo que tenía.¹⁰ Juan Martínez, amigo de Sein, intercedió por él y solicitó se le concediera nuevamente la mitad del sueldo de su cátedra para cubrir al menos los gastos de alimentación y del sirviente que lo atendía. Martínez justificaba el estado de demencia de su amigo insistiendo en que su enfermedad "provino del demasiado teson con que se dedicó al desempeño de sus obligaciones...".¹¹

Oteiza se hizo cargo del curso de física, además de aplicar los conocimientos fundamentales de esta disciplina a la minería. Introdujo en 1808 la balística axiométrica de Maupertuis y las aplicaciones de las propiedades del aire a distintos instrumentos y máquinas, como la escopeta de viento, sifones, bombas, barómetros, etcétera. Coincide la enseñanza de éstos temas con el inicio de los conflictos que terminaron en el movimiento de independencia de 1810.¹² Es probable que a finales de 1809 enfermara también Oteiza, debido a que en septiembre no cobró su salario y en octubre ya ni aparecía en la lista de materias de la cátedra de física.¹³ Seguramente se hizo cargo de la cátedra Manuel Ruiz de

de la Administración del Real Arbitrio de Beneficiencia, Madrid, 1803. Biblioteca Lafragua de la Universidad de Puebla, No. 47534 al 47537.

⁹ AHPM, M.L.91.B., Minería informes 1801-1808, p. 176.

¹⁰ AHPM, M.L.98.B., Diario de las labores del Tribunal de Minería 1808-1810.

¹¹ Luis Lindner, catedrático de química, enfermó también de algo similar a lo de Sein y murió en 1806. Ver AHPM, 1810, III 151.

¹² En 1807 examinó a los alumnos Julián Cervantes, Joseph Antonio Facio, Joseph Joaquin de Arzua y Joseph Vargas sobre las propiedades generales de los cuerpos, de las leyes del movimiento uniformemente simple y compuesto y el uniformemente acelerado; del descenso de los graves por planos inclinados y líneas curvas, del movimiento de oscilación y de los péndulos, del choque directo de los cuerpos y de las fuerzas centrales. Exponían los efectos de la máquina funicular, palancas, balanzas ordinarias y romana, garruchas, trocualas, plano inclinado, ruedas dentadas, tornillo sin fin, roscas y cuña, atendiendo en todas ellas a los impedimentos que se originan del rozamiento y de la rigidez de las cuerdas. Explicaban la balística de Maupertuis, aplicándola a los ejemplos que se les propusieran. Manifestaban las leyes del equilibrio de los fluidos entre sí y con los sólidos sumergidos, y de los gastos de los depósitos constantemente llenos. Las reglas para la distribución de las aguas; la medida del choque en los fluidos comprobada con experimentos y aplicada a las ruedas de alas y cubos; el origen de las manantiales, las propiedades del aire en general y su aplicación a las bombas, barómetros, fuentes de compresión, escopeta de viento, sifones y otras máquinas. Daban también razón de los principales puntos de óptica, especialmente acerca de los espejos y lentes con fórmulas fáciles para hallar sus focos y su aplicación a las cámaras oscuras y ópticas, a los telescopios dióptricos, ordinarios y acromáticos, a los de reflexión y a los microscopios simples y compuestos. Finalmente manifestaron algunas nociones de electricidad, magnetismo y principios astronómicos, aplicando éstos últimos al uso de los globos y mapas celestes y terrestres. Ver AHPM, M.L.91.B., Minería informes 1801-1808, p. 225 y 247.

¹³ AHPM, 1810 I 149.

Tejada, catedrático de matemáticas, ya que existe la evidencia de que al solicitar 15 días de licencia en enero del siguiente año propuso a Francisco Coria para que lo sustituyera en la clase de física;¹⁴ además se publicó la convocatoria a los opositores que concursarían por esta cátedra que dejara Sein a causa de su enfermedad. Aun en 1810 continuaba la discusión sobre si se debía dar o no apoyo económico a Sein; se insistía que debido a su pobreza no se le quitara su salario, por lo que se aprobó darle únicamente el alimento y que se le recogieran los ejemplares de libros que tenía sobre física.¹⁵ Lamentablemente en agosto de éste año murió Juan José de Oteiza, quien fuera catedrático propietario de la primera clase de matemáticas y sustituto de la de física.¹⁶ Nueve días después de la muerte de Oteiza, Elhuyar comunicó que Sein había muerto también. La fecha de su muerte no es segura, pues en otros documentos se mencionan otras fechas.¹⁷

En 1811 Manuel Ruiz de Tejada, sustituto de la cátedra de física, consiguió por su capacidad y desempeño una plaza de ensayador en la Casa de Moneda. Elhuyar le pidió que no renunciara a su cátedra y que mejor acomodara su horario como le conviniera.¹⁸ Aunque Tejada aceptó, llegó el momento en que el colegio por las inestabilidades que vivía el país declaró no poder pagarle su sueldo, por lo que en 1813 Tejada solicitó que se le pagara el sueldo de los cursos que había "servido interinamente desde agosto de 1810 con el de matemáticas".¹⁹ Es muy probable que los textos que utilizó para impartir su clase fueron el de Brisson y el de Bails, porque eran precisamente estos libros los que se regalaban cada año a los mejores alumnos.²⁰ Alcanzada la independencia, Tejada se integró al Congreso General Constituyente del imperio mexicano como uno de los 30 diputados. Otro de los

14 AHPM, 1810 II 150.

15 AHPM, M.L.98.B., Diario de las labores del Tribunal de Minería 1808-1810.

16 AHPM, 1810 I 149, 1810 II 150.

17 AHPM, M.L.337.B. Libros de ordenes 1810.

18 AHPM, 1811 I 152; AHPM, M.L.99.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1811-1843.

19 AHPM, M.L.99.B. Diario de las labores del Tribunal de Minería 1811-1843.

20 Los libros de Bails eran de matemáticas. Este autor consideraba a la física como una aplicación de las matemáticas, así que sus libros también estudiaban la física. Ver AHPM, M.L.339.B. Ordenes 1812; M.L.343.B. Libro de Ordenes 1817, AHPM, M.L.346.B. Libro de Ordenes 1820.

Fue en 1811 cuando surgió el interés por saber del funcionamiento de las bombas de fuego en las minas de Almaden y fue a finales de 1819 cuando Thomas Murphy solicitó privilegio exclusivo por diez años para introducir las máquinas de vapor. En mayo del año siguiente se estableció la máquina de vapor. Aunque Santiago Smith Wilcochs ofreció traer dos máquinas de vapor más, se le otorgó el privilegio a Murphy. Ver AHPM, M.L.101.B. y AHPM, M.L.102.B.

miembros del Colegio que participó como diputado fue Manuel Coto, catedrático de química.²¹

La tradición de regalar libros de física a los mejores alumnos en esta cátedra en los actos públicos continuó aún después de la Independencia. Por ejemplo, en 1827 se le regaló al alumno Pío Septien un ejemplar de la *Física* de Brisson y otro del viaje de Humboldt a las regiones equinocciales.²² En 1841 Ignacio Ramírez ganó el primer premio de la clase de física, por lo que se hizo acreedor a la obra *Astronomía y Tablas* de Delambre; el segundo premio de física lo ganó Francisco Córdova y se le regaló además de la *Mecánica* de Poisson, *Física* de Pelletan y las *Tablas Barométricas* de Biot.²³

Al crearse el establecimiento de ciencias físicas y matemáticas en 1833, se crearon nuevas cátedras y se sustituyeron los profesores de las que ya existían. En particular, para la cátedra de física se seleccionó a Joaquín Velázquez de León de una terna integrada además por Manuel Tejada e Ignacio Alcocer. Velázquez de León cambió el texto de Brisson por los textos de Poisson, Pouillet, Biot, Lavit y el de Progni. Así también los temas de cosmografía y astronomía que se solían enseñar como parte de la cátedra de física se enseñarían ahora en la cátedra de geografía.²⁴ Esto no duró mucho tiempo pues a finales de 1834 se expidió el Plan Provisional de Estudios, mediante el cual el colegio recobró su carácter original regresando al programa anterior de estudios con su respectivo personal. De esta manera Tejada quedó nuevamente como profesor de la cátedra de física, considerada como una clase indispensable para conocer el funcionamiento de las máquinas; como a continuación se muestra:

Todos los catedráticos de física general y particular pasarán con sus discípulos a los laboratorios respectivos del Seminario de Minería, para ver comprobados con el uso de las máquinas los experimentos a que los autores se refieren, para cuyo efecto se pondrán antes de acuerdo los

²¹ AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 9, fs. 324-325.

²² También se otorgaron como parte de los premios de matemáticas otros libros de física de otros autores, como el de Bertrand, *Recreaciones físicas*; el de Brisson, *Diccionario de Física*; y el de Fécler, *Física*. Ver AGN, vol. 13, Justicia e Instrucción Pública, fs. 54-57.

²³ AGN, vol. 13, Justicia e Instrucción Pública, fs. 54-57.

²⁴ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 283.

catedráticos á fin de que no se embarace el estudio en la minería ni en los demás colegios, y se evite el mal uso de las máquinas.²⁵

El contenido de la cátedra de física experimental cambió frecuentemente desde su creación. Bataller, al principio, impartía su curso con notas que preparaba mientras escribía su libro. Enseñaba dinámica, hidrodinámica, propiedades de los cuerpos, estática y aerometría, con un enfoque aplicado a la minería. Progresivamente se fueron incorporando nuevos temas como el de la óptica, las propiedades generales del calor, la electricidad, el magnetismo, la meteorología, la astronomía, la geografía y los sistemas planetarios. Con el paso del tiempo -como vimos en la capítulo anterior- estos temas se convirtieron en cátedras, por lo que la clase de física, durante el tiempo que permaneció, se concretó a estudiar aspectos de mecánica.²⁶

Ruiz de Tejada, como miembro de la Junta Facultativa, tenía que realizar diversas actividades de índole administrativo. ²⁷ Por ejemplo, se encargó en 1849 de abrir la convocatoria para la oposición del segundo curso de matemáticas por la muerte de Cástulo Navarro, quién muriera de cólera. En 1853 también abrió la convocatoria para la oposición a la clase de geografía y principios de astronomía que había quedado vacante por la renuncia de Blas Balcárcel. En 1855 formó parte de la comisión que daría orden y estructura a las materias. Por su brillante labor académica Ruiz de Tejada fue distinguido, en 1860, por la Real y Pontificia Universidad con el grado de doctor en ciencias. En el mismo acto se le otorgó el mismo grado a Joaquín de Mier y Terán. También los catedráticos Joaquín Velázquez de León y Blas Balcárcel obtuvieron el grado de Doctor en Ciencias Naturales.²⁸ Ruiz de Tejada (1810-1867) murió a los 87 años de edad.²⁹ No se han encontrado documentos que mencionen quien se quedó a cargo de la cátedra. Esto puede sugerir que la cátedra de física experimental desapareció al transformarse el colegio en Escuela Especial de Ingenieros.

25 AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 10, fs. 101-118; Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 297.

26 Ramos Lara, M. P., 1994, *op. cit.*, p. 77.

27 En 1852 era Secretario y en 1855 fue nombrado Vocal.

28 Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 422.

29 Ramírez, S., *Biografía del señor D. Manuel Ruiz de Tejada*, Imprenta del gobierno federal en el ex-arzobispado, 1889.

4.1.2. Mecánica aplicada a la minería, mecánica racional y aplicada, o mecánica analítica y aplicada

Una nueva cátedra de física se abrió en 1843, cuando el presidente de la república Antonio López de Santa Anna, por decreto, aumentó el número de carreras de cuatro a siete además de los estudios preparatorios. Algunos de estos cursos se quedaron de manera permanente, como fue el caso de geología, análisis químico y mecánica aplicada a la minería. Esta última fue asignada a Antonio del Castillo con un sueldo de 600 pesos anuales; con lo cual compartía los sueldos más bajos junto con los catedráticos de geografía y análisis químico, a los cuales se les daba 600 y 500 pesos, respectivamente. Esto a diferencia de las cátedras que mejor se pagaban como física, química y mineralogía, con un sueldo de 1500 pesos anuales.³⁰

La mecánica aplicada a la minería, también conocida como elementos de mecánica racional, era obligatoria para todas las carreras, al igual que otros temas que se estudiaban en la clase de física como la teoría del calor, la electricidad y el magnetismo, elementos de óptica, de acústica, y de meteorología. Tanto la cátedra de mecánica aplicada a la minería como la de física, se estudiaban en el cuarto año, inmediatamente después de haber terminado los tres años de estudios preparatorios, donde se suponía que los alumnos ya habían adquirido los conocimientos de matemáticas necesarios para estudiar ambos cursos.

Debido a que en 1845 no se inscribieron alumnos a la cátedra de mecánica aplicada a la minería, la Junta Facultativa de profesores decidió que la clase se redujera a cuatro meses con el mismo salario de 600 pesos anuales que recibía Antonio del Castillo. Incluso se llegó a comentar que era una cátedra inútil porque parte del material también se veía en la clase de mineralogía, razón por la cual el director sugirió que se superara el estudio superficial que se hacían de los temas y se profundizara más.³¹

³⁰ Años atrás se enseñaba como parte del segundo curso de matemáticas el tema de mecánica racional. Ver Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 351.

³¹ AGN, vol. 38, Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854.

Como la clase de mecánica aplicada tenía que ser práctica no era suficiente la instrucción en la escuela, por lo que en varias ocasiones se sugirió que se "diera sobre el terreno" y por esta razón se decidió que era una cátedra que se debía trasladar a la Escuela Práctica de Minas.³² Al establecerse dicha Escuela en Fresnillo, Zacatecas, en 1853, se trasladó la cátedra de mecánica aplicada a la minería junto con las cátedras de laboreo de minas y de mineralogía, por lo que se tuvieron que cambiar también los profesores Antonio del Castillo, Miguel Velázquez de León y Pascual Arenas. Debido a la necesidad de contar también con una cátedra de mecánica aplicada a la minería en el Colegio, el director Joaquín Velázquez de León estableció, con autorización del Ministerio, el 4 de marzo de 1854, la cátedra de mecánica racional e industrial nombrando catedrático interino a Próspero Goyzueta, quien percibía también 600 pesos anuales.

El crear dos materias similares que se impartían en lugares diferentes causó una discusión entre los catedráticos y el director, que tuvo que llegar al Presidente de la República para que él le diera solución. Aparentemente el problema estuvo en que en 1857, por una reforma, se le cambió el nombre a la cátedra de mecánica aplicada a la minería por mecánica racional, y del Castillo por dar las cátedras de geología y mineralogía dejó como sustituto a Miguel Bustamante sin haber dado aviso al Colegio.³³ El problema aumentó cuando el Supremo Gobierno destituyó a Miguel Bustamante como interino y de otros cargos que tenía en el colegio y se nombró catedrático de mecánica racional e industrial a Juan Barquera, mientras Mauricio Arriaga estaba en Fresnillo como profesor interino de la misma. El 10 de septiembre de 1858 Del Castillo pidió que se le devolviera la cátedra que impartía Próspero Goyzueta, y se le contestó que la que le correspondía era la que se impartía en Fresnillo. Del Castillo respondió con el argumento de que la ley que creó la Escuela Práctica el 17 de agosto de 1853 no explicitaba que en esta escuela se iba a enseñar mecánica aplicada a la minería, y que el curso se impartió -al igual que el de geología- por una disposición extraordinaria y por otra parte insistía en que la creación de la clase de mecánica racional no fue legal ya que no se creó por ley sino por "providencia directiva",

³² Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 359.

³³ Miguel Bustamante aún era alumno del colegio en 1852. Ver Ramírez S., 1890, *op. cit.*, p. 362.

que además lo que él enseñó durante 10 años contenía a la mecánica racional e industrial en vista de que había adoptado el libro titulado *Mecanique Industrielle*, del francés Faireze, estando como testigos los alumnos a quienes les había enseñado lo que se refiere a las máquinas que se usaban en la minería como un caso particular de la industria. En una de sus muchas cartas, dijo:

Igualmente suplico a U.S. recuerde por último que yo soy el fundador de la referida cátedra de mecánica aplicada a la minería; que la he servido durante 10 años; que los ramos que he enseñado son verdaderamente las de la mecánica industrial de la que tengo escrita una obra tomada del Faireze y Ponulet; que estos ramos no se habían enseñado hasta entonces en ningún otro Colegio de la República, y que todos los alumnos que han salido del Colegio son, sin excepción de los profesores de la Escuela Práctica, o discípulos míos o discípulos de mis discípulos, y que por consiguiente no se puede disputar en esta línea. el derecho y mérito de pertenecerme, mas cuando ahora se le quiere volver á dar la forma de cátedra de mecánica industrial, que es justamente la que he servido antes.³⁴

Ante esta situación el director Velázquez de León le expuso el problema al Presidente de la República para que él mismo le diera solución y le comentó que tomara en cuenta que el profesor Del Castillo impartía la cátedra de mineralogía en el colegio. El Presidente interino decidió que la cátedra le correspondía a Del Castillo. En tanto se resolvía la situación Miguel Bustamante aplicó el examen de mecánica racional para que se pudieran titular algunos estudiantes.³⁵

A pesar del conflicto, a finales de 1858 se estableció la clase de mecánica racional e industrial y otra de geometría descriptiva y sus aplicaciones con un sueldo de 1200 y 600 pesos anuales, respectivamente. Por primera vez se contrataba un preparador de física y química quien fungiría como sustituto de los profesores de estas clases en caso de ser necesario, y se le pagaba 1200 pesos anuales.³⁶

³⁴ En ese debate hay un problema de datos que no coinciden al cotejar diferentes fuentes. Lo que hasta este punto se ha mencionado son datos obtenidos del Archivo General de la Nación que difieren de los que Santiago Ramírez menciona. Por ejemplo, Ramírez dice que el 8 de enero de 1855 el Sr. Balcárcel recordaba que en el nuevo plan de estudios se estableció una cátedra especial de mecánica racional e industrial y nombró a Miguel Bustamante para que presentara el programa respectivo ya que debía ser diferente a la que Antonio del Castillo impartía en la Escuela Práctica. Recordamos que Miguel Bustamante en 1852 estaba realizando exámenes de topografía y geodesia junto con Francisco Díaz Covarrubias, Manuel Fernández Leal y Patricio Murphy. Ver AGN, vol. 71, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860; AGN, vol. 72, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860.

³⁵ AGN, vol. 71, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860; Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 383.

³⁶ El preparador tenía la obligación de preparar y ejecutar las experiencias de las clases de física y química. Ningún estudiante podía hacer uso del equipo ni extraer ningún tipo de aparato o reactivo, esto era de uso y responsabilidad del preparador. Ver AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 72, fs. 125.

Debido a que el 29 de enero de 1859 el profesor Antonio del Castillo insistió en que se le devolviera la cátedra de mecánica racional e industrial, el director Joaquín Velázquez de León reunió a Del Castillo, Barquera y Goyzueta para definir la situación. En esta reunión se decidió que Del Castillo se quedaría con la cátedra de geología con un salario de 2000 pesos anuales; Goyzueta con la cátedra de mineralogía con un sueldo de 1300 pesos anuales; y Barquera con la cátedra de mecánica con un sueldo de 1200 pesos anuales.³⁷ De esta manera el 3 de febrero se inauguró el curso especial de mecánica racional e industrial creado -ahora sí- por el artículo 2do. de la ley del 20 de diciembre, bajo la dirección del profesor Juan C. Barquera, por lo cual la Junta General dispuso que los alumnos debían presentar actos públicos de esta materia junto con la de química, topografía, geodesia y astronomía, zoología y botánica. Los nombres de los estudiantes que presentaron exámenes tanto de la cátedra de física experimental como de mecánica se muestran en el cuadro 4.1 (sólo se abarca el período de 1804 a 1859).

El hecho de que se hubiera creado una cátedra especial de mecánica aplicada no fue motivo para que se dejara de enseñar este tema en la cátedra de física. En 1846 el director del colegio, Tomás Ramón del Moral, le pidió al catedrático de física que diera la debida extensión a la mecánica y a la hidráulica, de tal manera que cuando el alumno iniciara el curso de mecánica aprendiera únicamente la parte práctica que le hacía falta.³⁸ La duración de la cátedra de mecánica aplicada era de hora y media, tres veces por semana. Este era el tiempo que en promedio cubrían todas las cátedras, excepto la de química aplicada y análisis químico, que consumían 6 horas a la semana.³⁹ A diferencia de la cátedra de física que tuvo por muchos años un mismo catedrático, en la de mecánica cambiaron los profesores frecuentemente. Así fue que participaron como catedráticos Antonio del Castillo, Juan Cecilio Barquera, Miguel Bustamante y Próspero Goyzueta, Joaquín Velázquez de León, Carlos Romero, Eduardo Garay y Francisco Rodríguez Rey. Juan Cecilio Barquera la

Asimismo se creó la plaza de profesor de principios de construcción y mecánica aplicada a las máquinas de minería, encargado además de sustituir a los profesores de explotación y metalurgia en caso de enfermedad o comisión especial del Gobierno; se le pagaba 1500 pesos anuales. Ver AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 72, fs. 86-87; AGN, vol. 71, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860; Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 383.

³⁷ AGN, vol. 72, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860. fo. 194.

³⁸ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p., 329, 351, 354, 383.

³⁹ CESU, ENI, Asuntos escolares, correspondencia, caja 27, exp. 3, fo. 4.

dejó de impartir al separarse del colegio en 1866, para aceptar el nombramiento de subsecretario de Instrucción Pública y Cultos.⁴⁰

Cuadro 4.1 Nombre de los alumnos que presentaron exámenes de las cátedras de física y de mecánica en determinados años.

1804 (física) ⁴¹	1805 (física) ⁴²	1806 (física) ⁴³	1807 (física) ⁴⁴	1808 (física) ⁴⁵
Juan Muñoz Jerónimo Aldaco Joseph Coria Lorenzo Obregón	Joseph María Duran Joseph Antonio Dávalos Ramón Garay Ramón Favie Carlos Favie Joseph Joaquín Regazo	Joseph María Alegre Joaquín Rojas Camilo Monterde Joseph María Ansa Joseph Estevan Ansa Santiago Fernández	Joseph Cayetano Mascarañas Joseph Vargas Pedro Rivera Julián Cervantes Joseph Antonio Facio Joaquín Anza Rafael Bataller	Manuel Bagues Ignacio Mora (cadete)

⁴⁰ Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 475.

⁴¹ AHPM, M.L.91.B., Minería informes 1801-1808, p. 183, p. 159.

⁴² AHPM, M.L.91.B., Minería informes 1801-1808, p. 183.

⁴³ AHPM, M.L.91.B., Minería informes 1801-1808, p. 209.

⁴⁴ AHPM, M.L.91.B., Minería informes 1801-1808, p. 223.

⁴⁵ AHPM, M.L.91.B., Minería informes 1801-1808, p. 294.

1827 (física) ⁴⁶	1845 (física) ⁴⁷	1846 (física)	1848 (física) ⁴⁸	1851 (física) ⁴⁹
Pío Septien	Jesús Terrazas Joaquín de Mier y Turán Miguel Vasconcelos Ignacio Gutiérrez José Quijano	Francisco Hermosa (pidió se pospusiera)	Pascual Arenas Juan Hill Carlos Villada	Agustín Morales Manuel Gil Pérez
1852 (física) ⁵⁰	1853 (física) ⁵¹	1854 (física) ⁵²	1855 (mecánica) ⁵³	1856 (física) ⁵⁴
Francisco Díaz Covarrubias Manuel Fernández Leal	Manuel González Treviño José M. Becerra	Miguel Ponce Ramón Almaraz	Celso Gaxiola Manuel Urquiza, sorteado con Ignacio Cañedo y Eulogio Villaurrutia (el curso de física se suspendió por introducir el de mecánica)	Jesús Fuentes y Muñiz Wenceslao Tagle Eulogio Villaurrutia, sorteado con Antonio Contreras
1857 (física) ⁵⁵	1858 (mecánica) ⁵⁶	1858 (física) ⁵⁷	1859 (física) ⁵⁸	
Pedro Sentiés José Bustamante	Teodoro Laguerenne Santiago Ramírez Manuel Rivera Pablo Ocampo Julio Arancivia Manuel Lavista Felipe Sabaiza Cayetano Camino Jesús Pérez	Francisco Rincón	Julio Arancivia Francisco Lavista	

Esta cátedra cambió constantemente de nombre: en 1854 tenía el título de *mecánica aplicada a las minas y mineralogía*, impartida por Próspero Goyzueta; en 1858 adquirió el nombre de *mecánica*, impartida por Juan Barquera; en 1861 cambió a *mecánica racional*;

46 AGN, vol. 13, Justicia e Instrucción Pública, fs. 54-57.

47 Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 320.

48 *Ibid.*, p. 338. A partir de este año Manuel Ruiz de Tejada aparece como el supervisor de los actos públicos de la cátedra de física.

49 *Ibid.*, p. 357.

50 *Ibid.*, p. 362.

51 *Ibid.*, p. 369.

52 *Ibid.*, p. 378.

53 *Ibid.*, p. 387. El profesor fue Próspero Goyzueta.

54 *Ibid.*, p. 395.

55 *Ibid.*, p. 402.

56 AGN, vol. 72, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860, fo. 166; Ramírez S., 1890, *op. cit.*, p. 409. Aunque Ramírez dice que no hay actos de física, tampoco menciona que haya de mecánica, sólo del 2do año de matemáticas, mineralogía, botánica y topografía, geodesia y astronomía práctica.

57 *Ibidem.*

58 AGN, vol. 72, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860, fo. 166.

en 1863 llevaba el título de *mecánica racional e industrial*, impartida nuevamente por Próspero Goyzueta; en 1867 cambió a *mecánica racional y aplicada* impartida por Miguel Bustamante; y fue hasta 1869 que se transformó en *mecánica analítica y aplicada*, para regresar en 1877 a su título original. A partir de 1882 cambió nuevamente el nombre a *mecánica analítica y aplicada* impartida por Eduardo Garay.⁵⁹ En 1883 la impartió por primera vez Francisco Rodríguez Rey, quien se quedó como catedrático hasta terminar el siglo. A Miguel Bustamante se le asignó una nueva cátedra.⁶⁰

El libro que utilizaba Rodríguez Rey para impartir la cátedra en 1887, era el de *Mecánica Analítica* de Delaunay, del que opinaba lo siguiente: "no es tan extenso como la obra de De. Bour que antes se estudiaba; pero si ha aumentado el profesor la enseñanza de la Mecánica aplicada con algunas adiciones a la obra de Faffe".⁶¹ A pesar de esta opinión, el libro de Bour se continuaba otorgando como un premio a los mejores alumnos de cada carrera.⁶² En la primera parte del curso se estudiaban temas de estática, cinemática, dinámica, hidrostática e hidrodinámica, para que en la segunda parte se aplicaran en diversos aspectos. Por dar algunos ejemplos, calculaban la relación de las velocidades entre los diversos tipos de engranes que constituían una máquina; aplicaban dichos conocimientos en la determinación de las cargas dinámicas de los apoyos y soportes para determinar el funcionamiento de los frenos, reguladores y transmisión; para calcular el gasto de líquidos derramados a través de orificios y alimentados por canales; conocer el funcionamiento de las turbinas, máquinas de vapor, máquinas de rotación, etc.

⁵⁹ En 1882 el programa de esta cátedra la tuvo que elaborar José C. Haro debido a que Eduardo Garay no pudo asistir a la reunión. Ver CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 1, fo. 1-8.

⁶⁰ Francisco Rodríguez Rey participó en el colegio en 1877 como conservador de gabinetes de topografía, geodesia y astronomía, física y mecánica de las colecciones de historia natural. Ver CESU, ENI, Administrativo, Personal, Nombramientos, caja 15, exp. 2, fo. 16-20.

El ganador del premio de mecánica analítica en 1885 fue Francisco Serrano y el de mecánica analítica y aplicada fue Jorge Zapata. Ver CESU, ENI, Asuntos escolares, Premios a alumnos, caja 33, exp. 5, fo. 15-30.

Para mejorar la clase de mecánica aplicada se solicitó en 1871 la adquisición de una máquina de vapor de cilindro horizontal, debido a que de las dos que existían en la escuela, una estaba en mal estado y la otra era muy antigua. Ver CESU, ENI, Contabilidad, Solicitudes de gastos, caja 13, exp. 3, fo. 53-57.

⁶¹ CESU, ENI, Asuntos escolares, Calificaciones y exámenes, caja 256, exp. 26, fo. 101-111.

⁶² Por ejemplo, en 1884 se regaló el libro de Bour de *Mecánica Analítica* a Jesús Arias ganador del segundo premio del primer y único año de la profesión de ingeniero telegrafista. También se le regaló el de *Aplicaciones de la Electricidad* a Jorge Zapata ganador del segundo premio del segundo año de ingeniero topógrafo. Ver CESU, ENI, Asuntos escolares, Premios a alumnos, caja 33, exp. 3, fo. 11-13.

Esta cátedra se conservó hasta finales del siglo XIX, aunque bajo una constante polémica, donde no se ponían de acuerdo si debía ser más teórica que práctica o viceversa. Esta situación se verá con mayor amplitud en la siguiente sección de este capítulo.

4.1.3. La cátedra de mecánica industrial

Desde 1882 Eduardo Garay, profesor de la clase de mecánica, insistía que debía existir un curso de mecánica netamente práctico. En ningún momento dudaba de la capacidad de los profesores y de los alumnos, al considerar que en los estudios teóricos estaban al mismo nivel que los mejores planteles de enseñanza europeos, lo que faltaba -en su opinión- era mejorar los estudios prácticos ya que éstos estaban relacionados con el progreso del país, por lo cual propuso que el curso de mecánica se dividiera en dos partes: mecánica y máquinas; donde se estudiarían "las teorías matemáticas que sirven de base indispensable a la mecánica y dar la aplicación de los resultados principales a las máquinas en movimiento". Se llevaría el texto de Edmund Bour. En el segundo curso, al que le llamaba mecánica práctica se visitarían los talleres, establecimientos de máquinas, de cálculo de motores y receptores, de conocimiento de aplicaciones a las diversas industrias.⁶³

Poco a poco se fue vislumbrando la necesidad de contar con una nueva cátedra, hasta que en 1886 se decidió crear la de *mecánica industrial*, la cual estaría a cargo de Miguel Bustamante. Para llevar a cabo el estudio de dicho curso, se hacía uso de los conocimientos que se habían visto en el curso de mecánica analítica y aplicada, no sólo para describir el funcionamiento de las máquinas y de los aparatos que se empleaban en la industria, sino que incluía también la construcción de éstos, especialmente los que estaban

⁶³ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 19, exp. 5, fo. 18-103.

relacionados con las labores de las minas, de la metalurgia, de la fabricación de productos químicos y de la aplicación industrial. Poco se dedicó a la industria fabril.⁶⁴

Para impartir el curso Bustamante elaboraba notas que extraía de diversos libros, esperaba con éstas llegar a publicar su propio libro de texto.⁶⁵ Esto no llegó a suceder porque a finales del siglo XIX se eliminó el curso, producto de las constantes confusiones que se generaron con el contenido de esta clase y la parte aplicada del curso de mecánica analítica.

Francisco Rodríguez Rey, profesor de la clase de mecánica analítica, era de la opinión de conservar solo el curso que él impartía, mientras Miguel Bustamante insistía en que se dividiera en dos, una de mecánica racional y la otra de mecánica aplicada que sustituiría a la de mecánica industrial, argumentando lo siguiente:

(...) la extensión que dá en clase al curso de mecánica racional y el carácter eminentemente analítico de ese estudio, hacen que los discípulos, cuando aprovechan resulten muy versados en el calculo y en especulaciones teóricas; pero han adquirido muy poca doctrina y no tienen aptitud alguna para las concepciones prácticas y de aplicación. Ese estudio ocupa la mayor parte del año escolar y la mecánica aplicada se dá muy someramente y con gran rapidez por el corto tiempo de que se dispone. Esto unido al espíritu de teoría y abstracción de que están incluidos los alumnos, hace que esta parte la mas útil del curso se quede absolutamente sin aprender. De esto tengo la prueba practica, por los exámenes á que concurro anualmente y por los discípulos que he tenido en mi clase.⁶⁶

Después de arduas polémicas se decidió eliminar el curso de mecánica industrial y dividir el curso de mecánica analítica en dos partes: uno teórico y otro práctico. El primero de ellos impartido por Francisco Rodríguez Rey y el segundo por Miguel Bustamante. El curso práctico se limitó a describir el uso y funcionamiento de las máquinas.⁶⁷

⁶⁴ En 1885 se compraron para el gabinete de la cátedra de mecánica aplicada un torno, un reloj, una lámpara para soldar, tornillos de mesa y giratorio, unas tijeras para metales, garruchas, atornilladores, tornillos, limas, peines para tornos, etc. Ver CESU, ENI, Dirección, Informes y Reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 105-398; CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 201.

⁶⁵ CESU, ENI, Libro de programas para los diversos cursos de la Escuela Nacional de Ingenieros.

⁶⁶ CESU, ENI, Administrativo, Personal, Correspondencia, caja 14, exp. 9, fo. 37-46.

⁶⁷ CESU, ENI, Académico, Planes y progmas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 20, fo. 531-534 y fo. 576.

Resulta interesante señalar que las cátedras de mecánica analítica y mecánica aplicada también se enseñaban en el Colegio Militar. Cuando los oficiales de ingenieros querían ejercer como civiles en el Distrito Federal debían inscribirse en el Registro de Ingenieros de la Obrería Mayor y solicitar aprobación de la Secretaría de Estado del Despacho de Justicia e Instrucción Pública en acuerdo del Ayuntamiento de la ciudad y comprobar en la Escuela de Ingenieros que habían cursado determinadas materias.⁶⁸

4.1.4. La cátedra de estática gráfica

Leandro Fernández propuso en 1885 que se creara la clase de estática gráfica, sin embargo la respuesta que recibió de la comisión encargada de dichos trámites fue que no era necesario el establecimiento de esta clase porque los temas que proponía se podían enseñar en la clase de mecánica aplicada, en la de matemáticas, e incluso en la de teoría mecánica de las construcciones. A diferencia de la comisión, Antonio Del Castillo solicitó a la Secretaría de Fomento que se aprobara el establecimiento de esta clase.⁶⁹ Se aceptó esta petición y empezó a impartirse en 1887 quedando como profesor José María Velázquez; en 1891 lo sustituyó Roberto Gayol y Miguel Velázquez de León como suplente; en 1892 la impartió nuevamente José Velázquez y en 1899 Luis Salazar.

El contenido que de esta cátedra se presentó en 1892, indica que se estudiaban aspectos de estática y elasticidad, además de calcular diversos parámetros de resistencia de materiales con fines totalmente prácticos. Por ejemplo, se analizaban las condiciones de equilibrio de los cuerpos con análisis gráfico, incluyendo conceptos de fuerzas y centro de gravedad para aplicarlas a las vigas, arcos, cimbras, trabes, etc. Algo similar se enseñaba en la cátedra de *teoría mecánica de las construcciones* donde también se aplicaba la mecánica a la resistencia de los materiales, aunque no se analizaba desde un punto de vista gráfico. Mientras que en la primera parte del curso se estudiaba la resistencia de los materiales y la

⁶⁸ CESU, ENI, Administrativo, Personal, Correspondencia, caja 14, exp. 9, fo. 37-46.

⁶⁹ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 2, exp. 22, fo. 147.

estabilidad de las construcciones, en la segunda se analizaba la cimentación y ejecución de trabajos de mampostería, madera y fierro.⁷⁰

Aparentemente era común pedirle a la Secretaría de Guerra y Marina que enviara a profesores del Colegio Militar a formar parte del jurado de los exámenes de estática gráfica. En 1887 se invitó a José María Reyes y Guillermo Prieto y en 1888 únicamente al primero.⁷¹ También llegó a ocurrir el caso inverso, que catedráticos de la Escuela de Ingenieros participaran como sinodales de algunos de los exámenes del Colegio Militar; así fue como Francisco Rodríguez Rey participó como sinodal de la clase de mecánica del Colegio Militar.⁷²

4.1.5. La cátedra de física matemática

Con la reforma educativa que hizo Juárez en 1867 y en particular en lo que se refiere a la Escuela de Ingenieros, se introdujeron nuevas cátedras que se conservaron y en algunos casos se perfeccionaron durante el siglo XIX. Entre estas se encuentran conocimientos prácticos de los materiales de construcción, teoría mecánica de las construcciones, estereotomía y carpintería, caminos comunes y ferrocarriles, puentes, canales y obras de los puertos, y cálculo de las probabilidades aplicada a las ciencias de observación, hidrografía y física del globo, quedando como profesor José Bustamante.⁷³ Esta última cátedra se transformó al año siguiente en *Cálculo de las probabilidades, hidrografía y física del globo*. En 1869 cambió a física matemática e hidrografía, para posteriormente adoptar el nombre de *cálculo de las probabilidades y física matemática* (1886). José Bustamante opinaba lo siguiente respecto a dicho curso:

⁷⁰ CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 186-188 y fo. 184-185; CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 20.

⁷¹ CESU, ENI, Asuntos Escolares, Calificaciones y exámenes, caja 25, exp. 26, fo. 101-111; además el exp. 29, fo. 123.

⁷² CESU, ENI, Asuntos Escolares, Calificaciones y exámenes, caja 24, exp. 16, fo. 65-67 y 67 bis.

⁷³ José Bustamante fue examinado en la cátedra de física por Manuel Ruíz de Tejada en 1857.

La hidrografía como ciencia naciente es de estudio bastante difícil y requiere de conocimientos profundos de física general y física moderna. La física del globo requiere de conocimientos de meteorología y de física general. Además la física matemática exige el conocimiento del cálculo infinitesimal y de la mecánica analítica.⁷⁴

A partir de 1887 se dividió en dos cursos: el de *cálculo de probabilidades* y el de *elementos de física matemática*, ambos impartidos por Miguel Pérez, aunque hubo años como 1891 y 1895 que se volvieron a impartir como un sólo curso (ver cuadro B.3, B.4 y B.5). Su contenido fue cambiando poco a poco hasta que alcanzó una estabilidad en la última década del siglo XIX. Por ejemplo, en 1886 sólo se exponían lecciones de teoría mecánica del calor, óptica, magnetismo terrestre, altimetría y calorimetría (ver apéndice D),⁷⁵ entre tanto que en 1891 y en 1892, el profesor Miguel Pérez impartió introducción a la mecánica, termodinámica, óptica y teoría ondulatoria de la luz.⁷⁶ Para 1899 el curso abarcaba mayor número de temas que los iniciales, el catedrático Mariano Villamil enseñaba física molecular, calor, termodinámica, cambios de estado, electricidad, magnetismo, electromagnetismo, acústica y óptica (óptica física y "electro-óptica"), utilizando como libro de texto *Leçons de physique generale* de J. Chappins y A. Bergot.⁷⁷

Esta cátedra, en 1867, formaba parte del plan de estudios de la carrera de ingeniero geógrafo e hidrógrafo, de hecho era una de las cátedras que distinguía esta profesión de la del ingeniero geógrafo. Para 1883, se impartía sólo al ingeniero geógrafo y en 1892 se dividió en dos cursos, el primero y segundo año de física matemática, debido a que era una cátedra indispensable para entender el contenido de la cátedra de astronomía y la de elementos de mecánica celeste. En 1897 con la Ley de Enseñanza Profesional de la Escuela Nacional de Ingenieros se extendió su enseñanza a cinco de las siete carreras, al ingeniero de minas y metalurgia, el ingeniero industrial, el ingeniero civil, el ingeniero geógrafo y el ingeniero electricista (ver apéndice A). El contenido de esta cátedra parecía ser de gran

74 CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 19, exp. 1, fo. 1-6.
75 CESU, ENI, Libro de programas para los diversos cursos de la Escuela Nacional de Ingenieros.
76 CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 207-208.
77 CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 20, fo. 564-576.

complejidad para los alumnos, por la evidencia de que en 1901 de 34 alumnos inscritos, sólo presentó uno el examen y lo aprobó.⁷⁸

4.1.6. La cátedra de telegrafía que posteriormente cambió a electricidad

Una nueva cátedra de física se empezó a impartir al crearse la carrera de telegrafista en 1883, la cual se llamó telegrafía y fue impartida por Mariano Villamil. El curso de telegrafía consistía en un estudio de la electrostática, electrodinámica, electromagnetismo, polarización eléctrica, generadores de electricidad, aparatos para medir la intensidad de las corrientes y para medir resistencias, aplicaciones de la ley de ohm, circuitos, componentes eléctricos de la telegrafía, líneas telegráficas, aparatos telegráficos, organización práctica de la telegrafía y aplicación de la telegrafía.⁷⁹

Una nueva dimensión alcanzó la carrera de telegrafista en 1888, cuando Mariano Villamil presentó el proyecto para la creación de la carrera de ingeniero electricista que consistía de dos años de cursos de electricidad teórica y aplicada, y como las demás carreras se terminaba con prácticas. En 1890 Villamil no pudo presentar el programa del segundo año de la nueva carrera debido a que salió a París.⁸⁰ Fue hasta 1891 cuando se estableció la carrera de ingeniero electricista con el proyecto elaborado por Mariano Villamil y Alberto Best. En el primer año se estudiaban matemáticas superiores y un primer curso de electricidad y magnetismo, el cual consistía del estudio de generadores eléctricos, electrometría, telegrafía, telefonía, trazo y construcción de líneas terrestres y submarinas, transmisión de señales, relojería eléctrica, aplicaciones eléctricas a los caminos de fierro, pararrayos y galvanoplastia. En el segundo año se estudiaba meteorología y un segundo curso de electricidad, el cual consistía del estudio del alumbrado eléctrico, distribución de la electricidad, motores eléctricos, tracción eléctrica, transporte eléctrico de la fuerza a distancia, electro-metalurgia y aplicaciones eléctricas a diversas industrias.⁸¹ Los libros que

78 CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 15, fo. 440-485.

79 CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 19, exp. 8, fo. 109-161.

80 CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 19, exp. 15, fo. 366-508.

81 CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 34, fo. 289-290.

utilizaron para impartir ambos cursos fueron *Leçons sur l'électricité* de Eric Gerard, y *Electricite Industrielle* de D. Monier.

Cuando se propuso la creación de una carrera de ingeniero electricista, se pretendía que todas las carreras tomarían algún curso de electricidad o cubrirían cierto número de conferencias relacionadas con esta materia.⁸² A partir de 1892 se estipuló que los cursos de electricidad serían obligatorios para la carrera de ingeniero electricista; mientras que las conferencias las tenían que escuchar los ingenieros de minas y metalurgistas, los ingenieros industriales, y los ingenieros de caminos, puertos y canales y construcciones civiles.⁸³ Este año Mariano Villamil, catedrático del primer curso de electricidad, se lamentaba de que el curso fuera teórico y que aún no tuviera el suficiente equipo para desarrollar prácticas; insistía en que éstas se debían realizar en las instalaciones eléctricas para después mandarlos a Europa o a Estados Unidos a especializarse. Alberto Best, catedrático del segundo curso, se admiraba del éxito que la clase había tenido entre los alumnos, y proponía que se impartieran ambos cursos en las carreras restantes.⁸⁴

En 1893 la carrera de ingeniero electricista regresó a su carácter inicial de telegrafista, desaparecieron las cátedras y conferencias de electricidad y sólo quedó la de telegrafía. Hasta 1897 se volvieron a impartir los dos cursos de electricidad, cuando la Ley de Enseñanza Profesional de la Escuela Nacional de Ingenieros los fusionó para convertirlos en el curso de *aplicaciones de la electricidad*, obligatorio para las carreras de ingeniero electricista e ingeniero industrial. El ingeniero civil debía asistir pero no tenía la obligación de aprobarlo, mientras que el ingeniero de minas y metalurgista sólo debía asistir a las lecciones de electrometalurgia (ver cuadro A.8).⁸⁵ De igual manera que sucedió para la cátedra de estática gráfica, en 1893 el vicepresidente de la Junta Directiva de Instrucción Pública solicitó a Joaquín Baranda -Secretario de Justicia e Instrucción Pública- que los profesores del Colegio Militar Guillermo Prieto, Manuel Ramírez y Aurelio Leyva participaran como jurado de los exámenes de electricidad, hidrografía y economía

⁸² CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 30, fo. 200-202.

⁸³ CESU, ENI, Dirección, Informes y Reglamentos, caja 4, exp. 10, fs. 105-398.

⁸⁴ CESU, ENI, Dirección, Informes y Reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 105-398.

⁸⁵ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 18, fo. 520 bis.

política.⁸⁶ Aparentemente esta cátedra también era de alto grado de dificultad para los alumnos, debido a que en 1901, de 9 inscritos, ninguno se presentó al examen.⁸⁷ En el cuadro 4.2 se muestra el número de alumnos aprobados y reprobados en las cátedras de física en 1890 y 1891. Los números indican que el índice de aprobados y reprobados era aproximadamente el mismo.⁸⁸

Cuadro 4.2. Alumnos reprobados y aprobados en 1890 y 1891 en los cursos de física

Título de la materia	1890		1891	
	Aprobado	Reprobado	Aprobado	Reprobado
Mecánica industrial	0	0	0	0
Telegrafía	0	0	0	0
1er curso de electricidad	0	0	2	2
2do curso de electricidad	0	0	2	2
Estática gráfica	17	17	19	19
Mecánica analítica y aplicada	19	20	13	16

4.1.7. La práctica de mecánica

Desde que la fundación del colegio se estableció que los alumnos tenían la obligación de cubrir al menos dos años de prácticas. Con el paso del tiempo, con la creación de nuevas carreras y con todos los contratiempos, angustias e incomodidades que pasaban los alumnos en sus prácticas, se decidió crear una Escuela Práctica de Minas en Fresnillo, Zacatecas. Al fundarse en 1853 se trasladaron a ella algunas materias para llevar a buen término las prácticas; entre éstas se encontraba una de mecánica como vimos al principio de esta sección. A pesar de la clausura de la Escuela de Minas algunos años después, los

⁸⁶ Para 1899 se contaba con un preparador encargado de los gabinetes de electricidad y mecánica; este año fue Leopoldo Burgoa. Ver CESU, ENI, Administrativo, Personal, Lista de empleados y asistencia, caja 15, exp. 12, fo. 311-315; CESU, ENI, Administrativo, Personal, Nombramientos, caja 15, exp. 11, fo. 48-50.

La propuesta de que se creara un encargado del gabinete de electricidad tuvo lugar en 1885 por Antonio del Castillo para que se dedicara a la conservación de los aparatos y a preparar los experimentos del curso. Ver CESU, ENI, Administrativo, Personal, Correspondencia, caja 14, exp. 4, fo. 25.

⁸⁷ CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 15, fo. 440-485.

⁸⁸ Era común que los estudiantes solicitaran una prórroga para presentar no sólo los exámenes de estas materias, también había otras como cálculo de probabilidades, esterentomía y economía política. Ver CESU, ENI, Asuntos escolares, Calificaciones y exámenes, caja 25, exp. 26, fo. 101-111 (1887).

alumnos tenían que continuar realizando sus prácticas. De hecho en 1867, la Ley Orgánica de Instrucción Pública obligaba a los alumnos a realizar prácticas.

En el cuadro 4.3 se ha condensado toda la información que se localizó respecto a las prácticas que se llevaron a cabo en distintos años. Se puede observar que, en particular, la práctica de mecánica era la que, en promedio, compartía los presupuestos más bajos, a diferencia de la práctica de topografía e hidromensura que aparentemente recibió un gran impulso durante el régimen porfirista. Es notable como en 1893 se le otorgó a la práctica general del ingeniero de caminos puertos y canales un presupuesto sin precedentes para ninguna práctica. También destaca el hecho de que aunque el profesor asignado variaba constantemente debido a los compromisos académicos que les impedían muchas veces salir de la ciudad, fue Francisco Rodríguez Rey el que se hizo responsable de las prácticas la mayor parte del tiempo.

Cuadro 4.3 Prácticas llevadas a cabo en distintos años. Se indican además algunos datos como el nombre del profesor, gastos, número de alumnos y lugares donde se realizaban dichas prácticas.⁸⁹

Año	Materia	Profesor	Gastos y No. de alumnos
1853	Mineralogía Laboreo de minas y mecánica aplicada y zoología	Pascual Arenas, M. Velázquez y A. Castillo	
1854	Mineralogía y mecánica racional Zoología y geología	Próspero Goyzueta Javier Zavala	
1859	Explotación de minas Mecánica aplicada Análisis química y metalurgia		
1871	Mineralogía y geología Mecánica aplicada Puentes y canales Caminos comunes y ferrocarriles Topografía e hidráulica		10 alumnos 200 pesos mensuales y 80 pesos por alumno
1872	Mineralogía y geología Caminos comunes y ferrocarriles Puentes, canales y obras en los puertos Mecánica racional y aplicada Topografía e hidráulica		\$200 c/mes para cada uno de los cinco profesores 10 alumnos con \$60 pesos c/mes

⁸⁹ Para 1853, AGN, vol. 38, Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854. Para 1854, AGN, vol. 39, Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854. Para 1859, AGN, vol. 72, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860, fo. 136. Para 1871, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudios, Obras, caja 12, exp. 1, fo. 1-5. Para 1872, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 12, exp. 2, fo. 6-11. Para 1873, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 12, exp. 3, fo. 12-14. Para 1875, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, caja 9, exp. 2, fo. 3-9; además exp. 3, fo. 10-16; CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 12, exp. 4, fo. 15. Para 1877, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Ingresos, caja 10, exp. 4, fo. 10-15. Para 1881, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Solicitudes de gastos, caja 13, exp. 17, fo. 97-100. Para 1882, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 12, exp. 10, fo. 77 bis, 5 fojas. Para 1883, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Solicitudes de gastos, caja 13, exp. 22, fo. 119 bis, 5 fojas. Para 1884, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Solicitudes de gastos, caja 13, exp. 24, fo. 121 bis, 1 foja. Para 1885, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 2, fo. 28; además exp. 3, fo. 28. Para 1886, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 12, exp. 13, fo. 77 bis 8 fojas; CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 4, fo. 29-36. Para 1887, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 12, exp. 14, fo. 78-79; CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 5, fo. 37-47. Para 1888, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 6, fo. 48-62; CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 12, exp. 16, fo. 81-86; CESU, ENI, Administrativo, Personal, Licencia y concesiones, caja 14, exp. 1, fo. 1-2. Para 1889, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Egresos, caja 9, exp. 15, fo. 116-126; CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Presupuestos, caja 12, exp. 18, fo. 89-94; CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 7, fo. 63-68. Para 1890, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Presupuestos, caja 12, exp. 19, fo. 94 bis, 7 fojas, además exp. 20, fo. 95-109; CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Egresos, caja 9, exp. 25, fo. 174-179; CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudios, Prácticas de campo, caja 22, exp. 7, fo. 63-68. Para 1891, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 7, fo. 69-75. Para 1892, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Solicitudes de gastos, caja 13, exp. 39, fo. 168-172; CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Egresos, caja 9, exp. 26, fo. 180. Para 1893, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Presupuestos, caja 12, exp. 21, fo. 110-112, además exp. 22, fo. 112 bis 3 fojas; CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Egresos, caja 9, exp. 27, fo. 181-182. Para 1894, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Presupuestos, caja 12, exp. 24, fo. 113 bis, 4 fojas. Para 1895, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Egresos, caja 9, exp. 28, fo. 183-185.

1873	Mineralogía y geología Mecánica aplicada Topografía y metalurgia		\$200 c/mes (por dos meses) 8 alumnos con \$80 c/mes
1875	Mecánica y metalurgia Topografía e hidráulica (Las prácticas se llevaron a cabo en el mineral de Pachuca, en las obras de desagüe, en el ferrocarril de Veracruz)	Ramón Almaraz Tito Rojas Estanislao Velasco	\$100 c/mes durante dos meses Salieron 19 alumnos con \$30 mensual
1877	Topografía y mecánica Geología y paleontología		\$6,500 fue el presupuesto total
1881	Topografía Geología Mecánica Astronomía	José Haro	\$1542 c/mes \$780 c/mes \$600 c/mes
1882	Geología Mecánica Conocimiento de materiales Topografía Meteorología (Observatorio Meteorológico Central)		\$200 c/mes Salieron 4 alumnos con \$60 cada uno
1883	Geodesia y astronomía Mecánica analítica y aplicada Conocimiento de materiales Paleontología y geología Topografía e hidromensura	L. Fernández F. Rodríguez Rey	\$1283.34 \$1588.90 \$2018.23 \$1220.30
1884	Mecánica Topografía Geología y paleontología	F. Rodríguez Rey	Para todo \$1000 pesos y sólo un mes.
1885	Geología Topografía Mecánica Conocimiento de materiales	F. Rodríguez Rey	
1886	Mecánica aplicada e industrial Geología y paleontología Topografía e hidromensura Conocimiento de materiales de construcción	Miguel Bustamante Mateo Plowes A. del Castillo	
1887	Mecánica Conocimiento de materiales Topografía e hidromensura Geología y paleontología Metalurgia, mineralogía Explotación de minas	Mateo Plowes	\$1340 \$1790 \$2800 \$2070
1888	Conocimiento de materiales de construcción Topografía Mecánica Geología y paleontología	L. Fernández F. Rodríguez Rey Manuel Urquiza	\$1300 \$3000 \$1520 \$1980

0

1889	Topografía e hidromensura Mecánica aplicada Conocimiento de materiales de construcción Geología	A. Díaz Rugama F. Rodríguez R. E. Martínez Baca Manuel Urquiza	\$3130 (\$500*) \$1760 (\$520*) \$1380 \$1730 (\$250*)
1890	Topografía e hidromensura Mecánica Conocimiento de materiales de construcción Geología	Adolfo Díaz F. Rodríguez Rey E. Martínez Baca Ezequiel Ordoñez o Manuel Urquiza	\$2918 \$1880 (\$700*) \$1370 (\$700*) \$1390 (\$700*)
1891	Topografía e hidromensura Mecánica Conocimiento de materiales de construcción Geología	A. Díaz F. Rodríguez Rey Martínez Baca Ezequiel Ordoñez	
1892	Topografía Mecánica aplicada Conocimiento de materiales	F. Rodríguez R.	\$2688 \$980
1893	Topografía Mecánica aplicada Geología Práctica general del Ingeniero de Caminos Puertos y Canales	Aurelio Leyva F. Rodríguez Rey Francisco Serrano	\$3162 \$940 \$2688 \$40,000 mensuales
1894	Topografía e hidromensura Mecánica (se canceló) Conocimiento de materiales (se canceló) Geología		\$2786 \$1170
1895	Topografía Geología	Aguilera	\$1415 \$1165

* Dinero que se le otorgaba al profesor

La práctica de mecánica fue una de las obligatorias, para la carrera de ingeniero de minas durante todo el siglo XIX. Mientras en mecánica (en 1877) se daban "a conocer los adelantos que en las diversas industrias hacen las aplicaciones de esta ciencia en nuestro país, así como ventajas que el empleo de las máquinas, se obtienen en los centros de explotación de minas más cercanas á nuestra capital", en la práctica de mecánica se estudiaban las aplicaciones de la mecánica "en las diversas oficinas y fábricas de esta capital; estudiar el taller que la Compañía del Ferrocarril Mexicano tiene establecido en Orizaba y por último, formar planos y cortes de las máquinas de desagüe, extracción y molienda (...)".⁹⁰

⁹⁰ CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 12, exp. 8, fo. 58-65.

Como parte de las actividades de la práctica de mecánica se realizaban visitas a los lugares que tuvieran máquinas. Por ejemplo, en 1882 se visitaron las máquinas de la industria extractiva (máquinas de desagüe y de extracción de minerales); industria metalúrgica (máquinas de acuñación, casa de moneda y apartado, de armas del supremo gobierno y la maestranza establecida en la ciudadela, calderas); industria manufacturera (fábrica de tejidos e hilados, de papel, de mantas y estampados, de casimires, de frazadas); industria agrícola (máquinas para moler granos o molinos, maquinaria de fabricación de azúcar, bombas para subir agua); industria de transportes (grúas hidráulicas del muelle de ferrocarril mexicano, depósitos, "locomotivas"); transportes marítimos (buques de vapor); alumbrado eléctrico (máquinas destinadas a producir el alumbrado eléctrico, máquinas magneto-eléctricas).⁹¹ Se ponía especial énfasis en el funcionamiento de los motores y máquinas, los cuales se clasificaban de la siguiente manera:

a) Los motores se dividían en animados e inanimados. Los motores animados eran los tornos y cabrestantes que eran movidos por el hombre, y así también los movidos por los animales y que se empleaban en los transportes o por el intermedio de transformadores de movimiento, como los malacates, arrastres, etc. Los motores inanimados eran aquellos que se movían por efecto del aire, como los molinos de viento y máquinas movidas por aire comprimido, perforadores, o aquellos movidos por el vapor como los generadores de vapor o calderas, receptores y aparatos anexos, condensadores, órganos intermedios y accesorios, bielas, momezuelas y reguladores.⁹²

b) Las máquinas de interés se encontraban en:

⁹¹ En 1892 se decidió que además presentarían un mínimo de tres dibujos realizados bajo la dirección del profesor. Ver CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 6, fo. 49-70. Además, caja 7, exp. 10, fo. 105-398.

Nuevamente en 1883 el profesor de la práctica de mecánica, Francisco Rodríguez Rey, llevó a sus alumnos a visitar varios establecimientos industriales y fábricas de la capital. Se visitaron fábricas de chocolate, de armas, de pólvora, de azúcar, de casimires, mantas, tejidos, algodón, papel, molinos, casas de moneda y apartado, oficina de acuñación, talleres de construcción y reparación del ferrocarril, aserraderos de mármol, vapores. Esto se realizó en la capital, en Morelos, en Querétaro, en Guanajuato, en Michoacán, en el Estado de México, en Hidalgo, en Puebla y en Veracruz. Asimismo se visitaron las empresas de los ferrocarriles de Morelos y del Central Mexicano. Ver CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 3, fo. 30-35; CESU, ENI, Asuntos escolares, Prácticas de alumnos, Organización, Correspondencia de prácticas, caja 31, exp. 8, fo. 86-117.

⁹² CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 1, fo. 11-27.

- Las industrias extractivas, especialmente en la industria minera y metalúrgica. En lo que se refiere a la industria minera se encuentran máquinas para "triturar rocas, para transportes verticales o inclinados, de extracción, tambores, carretes, en desagües, para ventilación de minas". Respecto a la industria metalúrgica aparecían máquinas para "grancear minerales como molinos, para porfirizar minerales, para soplo, distintos sistemas de ventiladores, cernidores giratorios, toneles, etc."

- Las industrias preparatorias para realizar la acuñación de moneda y en el trabajo de los metales y de madera. Respecto a la primera, máquinas para "estirar, laminar, cortar, acordonar, acuñar"; de la segunda, máquinas para "forjar, cortar, acepillar, taladrar, torneear, hacer engranes, para fabricar armas, etc."; de la tercera, máquinas para "torneear, aderrar, acepillar, taladrear, fabricación de llantas y rillos, pisos, etc."

- La industria manufacturera para fabricar tejidos ("arentadores, acardas, hiladores, estiradores, mulas, telares", etc.), papel de imprenta y litografía ("cuchillas y prensas").

- La agricultura, máquinas propias para moler granos como molinos de trigo, aventadores, piedras molidoras, elevadores, clasificadores.

- La industria de transportes para trasladar a cortas distancias cualquier tipo de materiales (grúas movidas a mano, por vapor o por presión hidráulica), locomotivas (locomotivas para pequeñas velocidades y fuertes cargas, grandes velocidades y pequeñas cargas, mixtas, para fuertes pendientes) y marinas (máquinas moviendo dos ruedas con paletas y moviendo una o dos hélices).

Para dar una idea del tipo de problemas de carácter teórico que abordaban en la práctica de mecánica, se mencionarán los siguientes:⁹³

- 1.- Dadas dos poleas, las distancias de sus ejes y el esfuerzo que trasmite la primera, determinar la longitud de la banda, su anchura y la pérdida de trabajo útil ocasionada por la transmisión.
- 2.- Se dan las velocidades de dos ejes y su distancia: determinar todo lo relativo a los engranes que deben hacer la transmisión. Trazo de los dientes.
- 3.- Dada la ley del movimiento de un vástago, determinar el trazo del excéntrico que lo produce.

⁹³ CESU, ENI, Académico. Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 1, fo. 1-8.

- 4.- Dada la carrera de un émbolo, determinar las dimensiones del paralelogramo de Watt, y también las del rombo de Peaucellier.
- 5.- Dada una calda de agua (altura y gasto) elegir el motor hidráulico más adecuado, y una vez elegido, calcularlo y proyectarlo.
- 6.- Dado el trabajo de una máquina de vapor, la velocidad angular del volante y la presión del vapor al entrar al cilindro, determinar las principales dimensiones en los casos siguientes:
 - a) Trabajando a plena presión (sin condensación)
 - b) Trabajando con expansión (sin condensación)
 - c) Trabajando con expansión y condensación
- 7.- Dada la altura a que hay que elevar una cantidad de agua, elegir la bomba más conveniente determinando sus dimensiones.
- 8.- Dada la superficie de caldeo de una caldera, determinar las dimensiones de su válvula de seguridad.
- 9.- Dada la presión del vapor en una caldera y el diámetro de ésta, determinar el espesor de la lámina.
- 10.- Dada la anchura de las luces de un cilindro de una máquina de vapor, determinar la anchura de los macizos de la corredera (ciron) para que se verifique la expansión de los $\frac{4}{5}$ de la carrera.
- 11.- Calcular el peso del volante en una máquina dada.
- 12.- Dada una máquina de vapor, determinar:
 - a) la cantidad de agua necesaria para la condensación
 - b) Las dimensiones de la bomba de aire

Entre 1889 y 1890 se decidió que para realizar la práctica, se visitarían de preferencia los establecimientos industriales del Distrito Federal.

4.1.8. Libros de texto

En la segunda mitad del siglo XIX se convirtió en obligación el que los profesores redactaran sus propios libros de texto para impartir sus clases. Se estimulaba esta actividad con la idea de que obtendrían algunas regalías dependiendo el número de ventas. No todos los libros redactados fueron publicados, debido a que pasaban por un comité que los revisaba y decidía si ameritaban su publicación o no. Se llegaron a dar los casos en que algunos profesores redactaron sus obras y se les rechazó su publicación, no porque no tuvieran la calidad deseada, sino por los constantes problemas económicos que sufrió la escuela.

Era común que los catedráticos que habían redactado sus materiales -fueran publicados o no en forma de libros- los incorporaran como libros de texto para impartir sus cátedras. Lo que solía ocurrir era que cuando dichos profesores, por alguna circunstancia, dejaban de impartir la cátedra, el profesor sustituto decidía utilizar otro libro de texto. Este fue el caso del material que redactó Francisco Antonio Bataller para la cátedra de física experimental a finales del siglo XVIII. Este material no se llegó a publicar, quedó en forma de manuscrito y no fue utilizado por Salvador Sein, profesor sustituto de dicha cátedra, quien decidió incorporar el libro de *Física* de Brisson, que era más teórico que práctico (a diferencia de la obra de Bataller que era más práctica que teórica). Esto no sólo ocurría con los libros redactados en México, también con aquellos que se importaban de otros países y se adoptaban como libros de texto; al cambiar el catedrático se cambiaba también el libro (ver cuadro 4.4). Casos excepcionales tuvieron lugar, aunque no en las clases de física, como fue el de Francisco Díaz Covarrubias (1833-1889), quien redactó varios libros para varias clases que se continuaron utilizando aún después de su muerte, como se muestra en el cuadro 4.5.

En el mismo cuadro, se observa también que varios fueron los catedráticos que escribieron sus propios textos para impartir sus cátedras. Como Francisco Bulnes, para meteorología e hidrografía y física del globo; Mariano Villamil para telegrafía y matemáticas superiores; Manuel Urquiza para mineralogía, geología y paleontología; Antonio Rivas Mena para construcción; Francisco Díaz Covarrubias y Leandro Fernández para análisis trascendente; F. D. Covarrubias para matemáticas superiores, geodesia y astronomía práctica y topografía y legislación de tierras y aguas; F. de Garay para puentes y canales; Eleuterio Méndez para caminos; A. Basurto para estereotomía; etc. Aunque fueron varios los libros y notas que se escribieron, esto no sucedió con las cátedras de física. No se ha localizado ningún libro de física escrito por un catedrático. Si acaso se llegaron a utilizar notas, como las de Miguel Bustamante que redactó para la cátedra de mecánica industrial.

Cuadro 4.4 Datos de las materias de física, del profesor asignado y los títulos de los libros de texto utilizados para enseñar dichas cátedras.

Año	Título de la materia	Nombre del profesor	Libros de texto
1792-1800	Física experimental	Francisco Antonio Bataller	Bails, Nollet, Sigaud de la Fond, Newton, etc. y de Francisco A. Bataller, <i>Principios de física matemática y experimental</i> , 4 tomos.
1800-1804	Física experimental	Salvador Sein	Brisson
1804-1810	Física experimental	Juan José de Oteyza	Brisson
1810-1833 y 1834-1867	Física experimental	Manuel Ruiz de Tejada	Brisson y Bails <i>Arquitectura Hidráulica de Prony</i>
1833-1834	Física experimental	Joaquín Velázquez de León	Poisson, Pouillet, Biot, Lavit y Progni
1843-1853	Mecánica aplicada a las minas	Antonio del Castillo	Faireze, <i>Mecanique Industrielle</i>
1854-1858	Mecánica racional e industrial	Juan Cecilio Barquera Miguel Bustamante Próspero Goyzueta	
1859-1866	Mecánica racional e industrial	Juan Cecilio Barquera	
1861	Mecánica	Miguel Bustamante	
1863	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica racional e industrial Preparador de física 	<ul style="list-style-type: none"> Joaquín Velázquez de León y Goyzueta (interino) Juan Terán 	
1866	Mecánica racional e industrial	Carlos Romero (antes Barquera)	
1867 y 1868	<ul style="list-style-type: none"> Física Mecánica racional e industrial Cálculo de las probabilidades aplicadas a las ciencias de observación, hidrografía y física del globo 	<ul style="list-style-type: none"> Agustín Zamora Miguel Bustamante José Bustamante 	
1869	<ul style="list-style-type: none"> Física matemática e hidrografía Mecánica analítica y aplicada 	<ul style="list-style-type: none"> José Bustamante 	
1877	Mecánica racional y aplicada	Miguel Bustamante	
1881	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica racional y aplicada Cálculo de probabilidades y física del globo 	<ul style="list-style-type: none"> Miguel Bustamante José Bustamante 	
1882	Mecánica analítica y aplicada	Eduardo Garay	Bour, E., <i>Mecánica y máquinas</i> Faffe, <i>Mecánica aplicada a las máquinas</i>
1883	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica analítica y aplicada Telegrafía Práctica de mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> Francisco Rodríguez Rey Mariano Villamil Francisco Rodríguez Rey 	Couley, <i>Telegrafía general</i>
1884	Mecánica analítica y aplicada	Francisco Rodríguez Rey	Obras de Ed. Bour y A. Faffe
1885	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica aplicada Telegrafía general 	<ul style="list-style-type: none"> Miguel Bustamante Mariano Villamil 	Viry, <i>Mecánica analítica</i>
1886	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica Física matemática Telegrafía Mecánica industrial 	<ul style="list-style-type: none"> Eduardo Garay Miguel Pérez Mariano Villamil Miguel Bustamante 	Bour, <i>Cours de mécanique et machines</i>

8

1887	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica analítica y aplicada Elementos de física matemática Telegrafía general Mecánica práctica e industrial Estática Gráfica Práctica de mecánica analítica y aplicada 	<ul style="list-style-type: none"> Francisco Rodríguez Rey Miguel Pérez Mariano Villamil Miguel Bustamante José M. Velázquez Miguel Bustamante 	<p>Delaonay, <i>Mecánica analítica</i></p> <p>Armengand, <i>Motores eléctricos e hidráulicos</i></p> <p>Maurer, <i>Estática gráfica</i></p>
1888	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica analítica y aplicada Elementos de física matemática Telegrafía general Mecánica práctica e industrial Estática Gráfica Práctica de mecánica analítica y aplicada 	<ul style="list-style-type: none"> Mariano Villamil Manuel Urquiza 	
1889	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica analítica y aplicada Física matemática Telegrafía general Mecánica industrial Estática Gráfica Práctica de mecánica aplicada 	<ul style="list-style-type: none"> Francisco Rodríguez Rey Miguel Pérez Mariano Villamil Miguel Bustamante José M. Velázquez F. Rodríguez Rey/Rómulo Hugalde 	<p>Flamant, A., <i>Mécanique générale</i></p> <p>Apuntes del profesor</p>
1891	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica analítica y aplicada Física matemática 1er curso de electricidad 2do curso de electricidad Mecánica industrial Estática gráfica 	<ul style="list-style-type: none"> Francisco Rodríguez Rey Miguel Pérez Mariano Villamil Alberto Best Miguel Bustamante Roberto Gayol 	<p>Flamant. Además Foustegueras y Hergot <i>Mécanique appliquée; Mécanique theorique et appliqué</i></p> <p>Eric Gerard <i>Leçons sur l'électricité; y D. Monier Electricité Industrielle</i></p> <p>Apuntes del profesor</p>
1892	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica analítica y aplicada 1er curso de física matemática 2do curso de física matemática 1er curso de electricidad 2do curso de electricidad Mecánica industrial Estática gráfica 	<ul style="list-style-type: none"> Francisco Rodríguez Rey Miguel Pérez Mariano Villamil Alberto Best Miguel Bustamante Roberto Gayol 	<p>Flamant A, <i>Mécanique Générale; Foustegueras et Hergot, Mécanique appliquée;</i></p> <p>Palacios, <i>Calderas de vapor.</i></p>
1899	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica analítica Física matemática Aplicaciones de la electricidad Mecánica aplicada Estática gráfica Práctica 	<ul style="list-style-type: none"> Mariano Villamil Francisco Garibay/Alberto Best José María Velázquez 	<p>Müller-Breslau H. <i>Elements d'statique graphique</i></p>
1900	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica analítica Física matemática Aplicaciones de la electricidad Mecánica aplicada 	<ul style="list-style-type: none"> Francisco Rodríguez Rey Mariano Villamil Francisco Garibay Miguel Bustamante 	<p>Chappins, J., Bergot, A., <i>Leçons de physique generale</i></p>

Cuadro 4.5 Se presentan algunos libros que se utilizaron como textos para algunas materias⁹⁴

1842	1884	1885	1887	1901
1ro Matemáticas Balls	Matemáticas superiores <i>Curso de Marlano Villamil</i>	Matemáticas superiores <i>Curso de Marlano Villamil</i>	Matemáticas superiores <i>Algebra Superior de Lefevre de Fourcy, Geometría Analítica de Lonet y Frontera, Análisis trascendente de F. D. Covarrubias.</i>	Matemáticas <i>Trigonometría esférica de M. Contreras, Leçons d'algèbre supérieure de Lefebure de Fourcy, Geometrie Analytique de Sonnet et Frontera, Cálculo Infinitesimal de D. Covarrubias</i>
2do Matemáticas Balls y manuscritos	Algebra superior <i>Lefebure de Fourcy</i>	Cálculo de las probabilidades <i>Llagre y el de Lando Fernández</i>	Cálculo de las probabilidades, Física matemática <i>Llagre</i>	Cálculo de probabilidades <i>Leçons sur l'électricité de Eric Gerard</i>
Química Lasaigné, Bauguellm	Geometría descriptiva <i>Adhemar</i>	Geometría descriptiva <i>Tratado de Geometría Descriptiva por J. Adhemar</i>	Geometría descriptiva <i>Adhemar y sombras y perspectivas paralelas por Thmengand</i>	Geometría descriptiva <i>Geometrie Descriptive de Javary</i>
Física Balls, Pullet, Despretz	Mecánica analítica y aplicada <i>Mecánica analítica de Ed. Bour</i> <i>Mecánica aplicada a las máquinas de Foffé</i>	Mecánica analítica y aplicada <i>Libro de Ch. Vry</i>	Mecánica analítica y aplicada <i>Análisis de Edmund Bour, Aplicado de Taffe</i>	Mecánica analítica <i>Mécanique générale de A. Flamant</i>
Mineralogía	Hidrografía y meteorología <i>M. Couzeau (meteorología práctica), Rodan (vientos y climas) Mawry (hidrografía) y las meteorologías de Kewtz y la de Mary Davy.</i>	Meteorología e hidrografía y física del globo <i>Francisco Bulnes</i>	Meteorología e hidrografía (no dan referencias)	Hidrografía y meteorología <i>A treatise en Meteorology de E. Loomis, Hidrografía de A. Leyva</i>
Cosmografía y delineación	Geodesia y astronomía práctica <i>F.D. Covarrubias y la práctica en el observatorio</i>	Geodesia y astronomía práctica <i>Libro Fernández</i>	Geodesia y astronomía <i>F. D. Covarrubias</i>	Geodesia y astronomía práctica <i>Geodesia y astronomía de F.D. Covarrubias,</i>
	Elementos de mecánica celeste y astronomía física <i>Cours d'Astronomie par Edmond Dubois</i>	Astronomía física y mecánica celeste <i>Angulano</i>	Curso elemental de mecánica celeste y de astronomía física <i>Cours d'Astronomie par Faye</i>	Hidráulica e Ingeniería Sanitaria <i>A treatise en Hydraulics de M. Merriman, Cleaning and Sewerage of cities de R. Bannister, Drainage and Sanitary Plumbing de W. P. Gerhard</i>
	Metalurgia y preparación mecánica de los minerales <i>Las obras de Rivot, Lampadius, Regnaud, Heron de Villegas y Pardau</i>	Conocimiento de los materiales <i>de Minkler</i> <i>Libro de Jureta</i> <i>Libro de Prudhonne</i> <i>construcción práctica</i>	Conocimiento de los materiales <i>Lawent, Libología, Maunier, Id, Dava, Text Book of Geology, Prude Home, Construction Pratique 2da. vol</i>	Procedimientos de construcción y conocimiento de materiales <i>Procedimientos de construcción de N. de Vos, Eléments d'atlque graphique de P. Seechi, Cours d'astronomie de J. Fay</i>

⁹⁴ Referencias. Para 1842, AGN vol. 37 Justicia e Instrucción Pública 1833-1854. Para 1884, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, cursos, caja 19, exp. 8, fo. 109-164. Para 1887, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, cursos, caja 19, exp. 11, fo. 240-283. Para 1899-1901, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, cursos, caja 20, exp. 21, fo. 595-634.

	Telegrafía <i>Tratado de Telegrafía General y Aplicada de Coule.</i>	Telegrafía <i>M. Villamil</i>	Telegrafía general <i>Culley</i>	Física matemática <i>Leçons de Physique generale de J. Chappin et A. Bergot</i>
	Geometría analítica <i>Lonnet y Frontera</i>	Topografía e hidromensura (no dan referencias)	Topografía e hidromensura (no dan referencias)	Topografía y legislación de tierras y aguas, <i>Topografía de Covarrubias, Topografía de S. Echeagaray</i>
	Análisis trascendente <i>F. D. Covarrubias y otro de Leandro Fernández</i>	Estereotomía <i>A. Basurto</i>	Estereotomía y carpintería (no dan referencias)	Estereotomía, carpintería <i>Estereotomía y Carpintería de Leroy, Estructuras de hierro de Oslet y Denfer</i>
		Mineralogía, geología y paleontología <i>Manuel Urquiza</i>	Mineralogía, geología y paleontología (no dan referencias)	Mineralogía, geología y paleontología <i>A text book of Mineralogy de S. Dana, Elements of Geology de Le Couste, Petrology for students de A. Harker, Elements of Paleontology of Invertebrate de H. Woods</i>
		Construcción <i>Antonio Rivas Mena</i>	Teoría mecánica de las construcciones <i>De Vos y Rondellet</i>	Construcción y estructuras de máquinas <i>Tratado de construcción de órganos de máquinas de F. Reuleaux</i>
		Química industrial <i>Layago</i>	Química industrial (no dan referencias)	Química industrial <i>Chimie Industrielle de Wagner et Gautier, Pratique des essais industrielles de G. Halphen</i>
		Química analítica (no dan referencias)	Química analítica aplicada (no dan referencias)	Química analítica y docimasia <i>Cualitative an Quantitative Chemical Analysis de R. Fresenius, Notes on assaying-schems de Pujster Rickett</i>
		Caminos <i>Eleuterio Mendez</i>	Caminos comunes y ferrocarriles (no dan referencias)	Vías de comunicación terrestre <i>Carreteras de P. Spaklug, Ferrocarriles de Arthur Miller Wellington, Puentes de maider de Salcott G. Foster, Puentes metálicos de Wolson Wood.</i>
		Puentes y canales <i>F. de Garay</i>	Puentes canales y obras en el mar (no dan referencias)	Vías de comunicación fluviales <i>Rivers and Canals de Vernon d'Harcort, Harbors and Doeks</i>
		Dibujo arquitectónico <i>Antonio Rivas Mena</i>		Metalurgia <i>Traité theorique et pratique de Metallurgie de Schuabel, Manuel d'Electro-metallurgie de Becker, Iron and Steel manufacturing de Horns</i>
		Dibujo topográfico y geográfico (no dan referencias)	Economía política (no dan referencias)	Economía política <i>Elements d'economie politique de P. Beavegard</i>
			Estática gráfica ⁹⁵ <i>Maurer</i>	Explotación de minas <i>Curso de explotación de minas de L. Carrlón</i>
			Mecánica industrial <i>Motores hidráulicos y de vapor por Armengand</i>	Mecánica aplicada <i>Mécanique Theorique et applique de Foustégueras Hergot</i>

95 En 1899 se propuso *Estática Gráfica* de Muller-Breslau.

Se procuraba que hubiese suficientes libros de física en la biblioteca para que los alumnos y profesores acudieran a consultarlos. Constantemente se hicieron pedidos de libros a Francia, Inglaterra, Alemania y Estados Unidos. Como era tradición del colegio, se hicieron pedidos de ejemplares en mayores cantidades, para regalarlos a los estudiantes que hubiesen sido distinguidos con algún premio. En el cuadro 4.6 se presentan los títulos de algunos libros de física que se otorgaron a estudiantes en los actos públicos. En el cuadro 4.7 se muestran los libros de texto que se localizaban en la biblioteca tanto para consultar como para enseñar.

Para apoyar la enseñanza de los cursos y para que los miembros de la escuela se enteraran de las aportaciones más recientes en diversas áreas, la Escuela de Ingenieros se suscribió a varias revistas del extranjero. En particular, para dar apoyo a los cursos de física se suscribió a la revista norteamericana *Scientific American*.⁹⁶

Cuadro 4.6 Libros de física otorgados en premios

Año	Autor	Título de los libros
1827	Brisson	Diccionario de Física Física Recreaciones Físicas Mecanismos de Electricidad
1841	Poisson Relletan Biot	Mecánica Física Tablas Barométricas

El Colegio de Minería se preocupó constantemente por adquirir aparatos e instrumentos que permitieran desarrollar en los alumnos la habilidad de experimentar, comprobar y, en general, aplicar lo que se veía en la parte teórica de los cursos.

⁹⁶ Llegaron también las siguientes revistas: *Bulletin de la Société d'encouragement* 1854-1855, *Journal de Pharmacie* 1855, *Annales de Chimie et Pharmacie* 1854, 1855 y 1856, *Technologista* tome 16 1855, *Bulletin de la Société Géologique* 1853-1855, *Annales des Mines* 1854-1855, *Journal del Ecole Polytechnique*. Ver AGN, vol. 70, Justicia e Instrucción Pública 1855-1860; CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Egresos, caja 9, exp. 13, fo. 94-111.

Cuadro 4.7 Libros de texto de física que se encontraban en la biblioteca para ser consultados o para que los profesores impartieran la cátedra.

Año	Autor y título de los libros	Comentarios
1804	Brisson	Para la clase de física
1811	Prony, <i>Arquitectura Hidráulica</i>	Se compró para la biblioteca
1820	Jacobi Bernoulli, <i>Opera</i> Biot, <i>Obra Gran</i>	Se compraron para la biblioteca
1827 ⁹⁷	Bertrand, <i>Recreaciones físicas</i> Brisson, <i>Diccionario de física</i> Féchet, <i>Física</i>	Se entregaron en los premios de matemáticas El libro de Féchet se entregó en los premios de física
1833	Poisson, Pouillet, Biot, Lavit y Progni	J. Velázquez de León los utilizó como libros de texto para el curso de física
1841 ⁹⁸	Poisson, <i>Mecánica</i> Pelletan, <i>Física</i> Biot, <i>Tablas Barométricas</i>	Se entregaron al 2do premio de física
1845	Ponillet, <i>Física</i> Navier, <i>Sus lecciones dadas en la Escuela Politécnica</i> Poncelot, <i>Las obras de</i> Moungel, <i>Mecánica industrial</i> Barlon, <i>Tratado sobre la resistencia de las maderas, fierro colado, etc.</i> Whesvell, <i>Mecánica para los ingenieros</i> Jariez, <i>Mecánica industrial</i> Esguerra, <i>Mecánica aplicada a las minas</i>	Se pidieron para la clase de mecánica aplicada a la minería
1850 ⁹⁹	Faireze y Ponulet Faireze, <i>Mecanique industrielle</i>	Del Castillo los usó para impartir la cátedra de mecánica aplicada a la minería.
1859	Brisson, <i>Física</i> , 4 tomos, Desprezt, <i>Tratado Elemental de física</i> , 4 tomos	Eran ejemplares que promovían las librerías en los periódicos ¹⁰⁰
1877	Phillips, <i>Tratado de Mecánica</i> Bour, <i>Curso de mecánica</i> Viry, <i>Curso de mecánica</i> Armengaund, <i>Tratado de motores de vapor</i> <i>Tratado de motores hidráulicas</i> <i>Cristalografía</i> Ermel, <i>Tratado de máquinas</i>	Obras de física que se encargaron a Europa ¹⁰¹
1887	Delaunay, <i>Mecánica analítica</i> Ed. Bour Faffe	Para la cátedra de mecánica analítica y aplicada
1890	Daniel Palacios, <i>Tratado práctico sobre calderas de vapor</i>	Curso de construcción y establecimiento de máquinas.
1892	A. Hamant, <i>Mecánica generale</i> Foustegueras et Hergal, <i>Mécanique Appliquée</i> Sr. Palacios, <i>Calderas de vapor</i>	Curso de mecánica analítica y aplicada

⁹⁷ AGN, vol. 13, Justicia e Instrucción Pública, fs. 54-57.

⁹⁸ *Ibidem*.

⁹⁹ *Diario de Avisos*, 16 y 17 de febrero de 1859.

¹⁰⁰ Este anuncio lo publicó la librería Galván en el periódico *Diario de Avisos*, 16 y 17 de febrero de 1859.

¹⁰¹ CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Solicitudes de gastos, caja 13, exp. 15, fo. 90-91.

La biblioteca se nutrió de varios libros que de electricidad se compraron. Se recibieron gratuitamente publicaciones anuales del Diario Oficial, de las Secretarías de Estado, el Instituto Geológico, el Geological Survey de Iowa, el Instituto Smithsonian, la Comisión Geológica de Canadá y algunas publicaciones de la capital. La escuela se suscribió a: *La Revue internationale des Mines et Métallurgie*, *Le Revue internationale des Mines et Métallurgie*, *Le génie Civil*, *La Revue de Chimie de fer*, *Electrical Review*, *Société des Ingénieurs Civils de France*.

4.1.9. Compra de instrumentos

Los libros, instrumentos y equipo en general, se compraban en Inglaterra, Alemania, Francia y Estados Unidos. A mediados del siglo XIX se importaban principalmente de Francia, en particular el año de 1857 destacó por los múltiples pedidos que se realizaron durante el año.¹⁰² A diferencia de las dos últimas décadas de dicho siglo, durante las cuales los pedidos se hacían principalmente a Alemania.¹⁰³ Se contaba con la gran ventaja de que podían ser transportados por ferrocarril del puerto de Veracruz a la ciudad de México. Durante el intervalo de tiempo que la Escuela dependió de la Secretaría de Fomento, se incrementó considerablemente el número de pedidos, así también se hizo común el vender el equipo y los materiales que para la Escuela ya no eran de utilidad para comprar nuevos mientras que los libros viejos se donaban a la Biblioteca Nacional o a la Escuela de Jurisprudencia.¹⁰⁴ En 1885 por ejemplo, se adquirió una gran cantidad de equipo para

¹⁰² Se pidieron termómetros, barómetros, higrómetros, bombas, diversos tipos de péndulos, dinamómetros, inductores, modelos de locomotoras, máquinas de Watt, fotómetros, caleidoscopios, electrómetros, botellas de Leyden, balanzas, lentes, bobinas, máquinas de Atwood, prismas, condensadores, etc. Ver AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 70, fs. 217-247.

¹⁰³ Una de las casas a las que se compraban los instrumentos, era la Casa W. Breithanht Sotin de Cassel en Alemania, en menor medida se pedían a la Casa Fontain en París. También llegaban esporádicamente de Inglaterra y Estados Unidos. Ver CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Solicitudes de gastos, caja 13, exp. 31, fo. 152-153; CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Ingresos, caja 10, exp. 3, fo. 8-9; CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 2, exp. 21, fo. 145-146; *Ibid.*, caja 3, exp. 30, fo. 221-222; CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 1, fo. 1-3; CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Egresos, caja 9, exp. 4, fo. 17-31; *Ibid.*, exp. 23, fo. 167-171; *Ibid.*, exp. 22, fo. 153-166; *Ibid.*, exp. 17, fo. 133-137.

¹⁰⁴ Se pedían sustancias y utensilios para el gabinete de química, aparatos para la clase de conocimiento de materiales, máquinas de resistencia de materiales, aparatos para el gabinete de telegrafía general, máquinas y herramientas para la clase de mecánica industrial, etc. Ver CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 30, fo. 221-222.

fortalecer todos los gabinetes, en particular para el de mecánica se compraron tornos, grúas para puertos, modelos de émbolos de estopa, cuero flexible, engranes, ruedas y cadenas de todo tipo, etcétera. Para el gabinete de telegrafía se compró un electrómetro, un galvanómetro, cuatro aparatos telegráficos, dos receptores, dos magnetos, dos "apartarayos", un conmutador, etc. Para el gabinete de mecánica industrial se inició la formación de un taller para la construcción de modelos y aparatos. Asimismo, a la hacienda-escuela se le construyeron dos gabinetes para las clases de agricultura, las clases de física, química e historia natural.¹⁰⁵

En 1901 se compraron varios instrumentos para las distintas clases. Para la de aplicaciones de electricidad se compraron un "vólmetro" (hoy conocido como voltímetro) y un amperímetro; para la clase de procedimiento de construcción un aparato de Newton para experimentar resistencia de materiales de construcción.

¹⁰⁵ CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 7, fo. 73-100.

4.2. Impacto de la enseñanza de la física en la Escuela de Ingenieros

4.2.1. Más cursos prácticos y menos teóricos

El siglo XIX terminó con la gran preocupación del alto índice de reprobados, y el bajo índice de alumnos que se hacían acreedores a premios. En 1901 se nombró una comisión que estudiara las causas y buscara los medios para darles solución, destacando como miembros Justo Sierra, Manuel Fernández Leal, Ezequiel A. Chávez, y varios profesores.¹⁰⁶

Juan Mateos y Manuel Marroquín opinaban que el problema estaba en que no se contaba con un método de aprendizaje que permitiera conservar los conocimientos de los cursos aún después de concluirlos, insistían en que

La acumulación de ideas en su cerebro, en un corto tiempo, los fatiga, los entorpece y produce una confusión que termina en la ignorancia de una materia en que obtuvieron una calificación satisfactoria.¹⁰⁷

Proponían reglamentar los exámenes, elaborar cuestionarios y publicar en los corredores de la escuela la lista de los alumnos que se hubieran distinguido por su falta de aplicación y puntualidad.

Otro problema que detectaron fue la mala calidad en los estudios preparatorios, atribuido a la no funcionalidad del sistema semestral; la falta de cursos de mineralogía, geología, física y matemáticas; los de matemáticas se consideraban de gran utilidad al ingeniero

No solo porque ejercitan vivamente el raciocinio y la ordenación metódica de las ideas, sino porque constituyen una de las grandes bases de los estudios posteriores, haciéndolos, no solamente inteligibles, sino simplificándolos y facilitándolos.¹⁰⁸

La física era considerada como una ciencia indispensable para el ingeniero por lo que debía

Estar familiarizado con las fuerzas naturales, con quienes va a luchar, y de cuyas leyes va a servirse. Debe conocer las propiedades de los cuerpos, instrumento u objeto de su industria. Los procedimientos experimentales de esa ciencia aparecen constantemente en las aplicaciones de la

¹⁰⁶ CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 16, fo. 486-499.

¹⁰⁷ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 8, exp. 15, fo. 455.

¹⁰⁸ *Ibid.*, fo. 457-460.

ingeniería. El conocimiento elemental de las máquinas, dejando de ser una curiosidad, se convertirá en un elemento que facilitará el estudio serio y completo de la Mecánica Aplicada. Las leyes del calor, del magnetismo, de la electricidad, de la hidráulica, la teoría de las densidades y de las masas, etc. no deben ser nuevas para él cuando emprenda los estudios profesionales.¹⁰⁹

En la Escuela Preparatoria, la Física se enseña haciendo desfilar ante los ojos del alumno las estampas de un tratado, cubierto de tachos sobre las fórmulas matemáticas, y de parentesis, que marcan, el agrado del profesor, o á la ventura, las páginas que estorban para terminar su lectura en el semestre. Pasados los exámenes, toda huella de la Física se ha borrado de su mente. La falta de experiencias y de ejercicios en el método de las ciencias de observación, le ha quitado todo medio y ocasión de meditar, y le ha privado de los ejemplos y de los resultados de la inducción, instrumento tan importante para el ingeniero práctico.¹¹⁰

Antiguamente, las experiencias metódicamente distribuidas en el año, y los problemas de la Física, propuestos á los alumnos, despertaban en ellos un interés particular muy saludable para su inteligencia y hasta para su conducta. Ejercitados en el método y satisfechos alentados por el éxito de las resoluciones, y admirados con los resultados de la ciencia, se despertaban en ellos ideas sanas y elevadas; y en toda ocasión trataban de aplicar sus conocimientos. Se complacían en proponerse problemas, en imaginar casos nuevos, repetían las experiencias fáciles, se detenían ambiciosos ante los aparadores de los ópticos á contemplar los instrumentos que no estaban á su alcance, empleaban sus ratos de descanso en construir un electróforo ó una botella de Leyden, y á ninguno le faltaba su termómetro. Leerían con profundo deleite las obras de Julio Verne que mantenían su viva imaginación de adolescentes en el mundo de la ciencia, y cuantos de ellos se inclinaron á seguir la carrera de ingeniero cuando las lecturas de la Física, les mostraron las máquinas de vapor ó los dinámos, ó las maravillas que realizaron los que poseían las leyes de las fuerzas naturales.¹¹¹

Hoy se nota la desaparición de esas ideas. No hay interés por los fenómenos que un semestre no permite conocer. Los relatos sencillos de Julio Verne, se han abandonado por las novelas parisienses, y los ideales no se reducen á un modelito de máquina de vapor, sino á un vestido de moda ó á una corbata vistosa. Y al emprender el estudio de la mecánica ó de la electricidad, ó de la hidráulica, el profesor tiene que luchar con la ignorancia de los principios mas elementales.¹¹²

Las reformas que propusieron para aumentar el interés de los alumnos por estudiar las carreras de ingeniería eran: que el estudio de las matemáticas elementales fuera más completo, ordenado y constante; que los cursos de física fueran más extensos, experimentales y con ejercicios de problemas resueltos a través de las matemáticas, especialmente con el cálculo; que la enseñanza de la mineralogía y geología se realizaran con la ayuda de colecciones que permitieran al alumno visualizar cualquier fenómeno; aumentar las lecciones del idioma inglés y eliminar el sistema semestral.

Consideraban a la cátedra de mecánica como *una piedra angular para la ingeniería*. Por esto, se decidió dividirla en dos: en *mecánica analítica* y *mecánica aplicada*, porque

109 *Ibidem.*
110 *Ibidem.*
111 *Ibidem.*
112 *Ibidem.*

El primero de estos cursos es en extremo importante, y fundamental, no solo por la parte instructiva sino también por la educativa. Las verdades que ahí se adquieren sirven de fundamento a multitud de doctrinas, y además de contribuir a la instrucción posterior del alumno tienen la enorme ventaja de proporcionarle nuevos ejemplos del método deductivo a la vez que le suministran importantes instrumentos de investigación. Hay ciertas doctrinas en Mecánica, como la del trabajo virtual, que deben considerarse como artificios importantísimos, comparables en cuanto a su trascendencia a los que sirven de base al cálculo infinitesimal. Acontece con estas doctrinas que a primera vista parecen oscuras y su misma abstracción las hacen difíciles de ser comprendidas con claridad. No se les atribuye su importancia real, sino cuando se entra al terreno de las aplicaciones. Es enteramente indispensable, que el alumno se penetre desde un principio de su importantísimo papel como instrumento de investigación, a la vez que comprenda con claridad la significación de todos esos teoremas, y esto solo se consigue con numerosos ejemplos que vengan a precisar las doctrinas, con muchas aplicaciones que le permitan apreciar debidamente su empleo.¹¹³

Coincidían en que la enseñanza de los principios de la mecánica era fundamental debido a que

Lo verdaderamente útil son los principios, y éstos no deben aprenderse de memoria, sino comprenderse profundamente. Los teoremas relativos a las fuerzas, la doctrina de los centros de gravedad, la teoría de los momentos, la definición de la masa y de la aceleración, los teoremas de la fuerza viva, de la conservación de la energía, las leyes de rozamiento, la doctrina de los trabajos virtuales, etc. son estudios en extremo interesantes, y no conviene de ninguna manera que se queden envueltos en una atmósfera de misterio sino que se necesita presentarlos con claridad meridiana.¹¹⁴

El curso de mecánica aplicada debería ser menos teórico y más práctico enfocado al estudio de los mecanismos de funcionamiento de las máquinas, como ver el ajuste de las piezas, máquinas de vapor, motores térmicos, hidráulicos, eléctricos, etc.

En lo que se refiere a la cátedra de física matemática, opinaban que debería transformarse en *física experimental* para cambiar el método de enseñanza de deductivo a inductivo. Se justificaban de la siguiente manera

La experiencia que hemos tenido nos ha demostrado que en los alumnos se desarrolla en un grado nocivo esa exagerada tendencia a la deducción, y la consecuencia lógica de este sistema es que abandone casi por completo el ejercicio de los métodos inductivos, que son en nuestro concepto, tan necesarios ó quizá más que los deductivos para la práctica de la Ingeniería (...) Pocos alumnos son

¹¹³ Se consideraban los métodos deductivos e inductivos como los métodos de enseñanza tradicionales. Los deductivos tenían como base aquellos procedimientos puramente matemáticos, mientras que los inductivos se basaban en la observación y experimentación, de aquí que las matemáticas se deberían enseñar bajo métodos deductivos y la física bajo métodos inductivos. Criticaban el hecho de que los profesores de física enseñaban estas cátedras con métodos deductivos y no inductivos. De igual manera, criticaban a los profesores de matemáticas que en lugar de enseñar lo fundamental que eran los métodos que existían para plantear problemas, se enfocaban a enseñar transformaciones algebraicas como despejar, aplicar teoremas, desarrollos algebraicos, buscar las soluciones de las ecuaciones, etc., dejando de lado lo más importante, lograr el aprendizaje del método. Ver CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 8, exp. 15, fo. 457-463.

Ibid., fo. 465.

¹¹⁴ *Ibid.*, fo. 465.

observadores, desconocen el funcionamiento de las bombas, muestran desinterés en visitar los talleres, ignoran la forma transversal de una vigueta de fierro, etc. (...) Por instinto nuestra raza es apegada á las cosas abstractas, consecuencia quizá de la educación metafísica de otros tiempos, y si hoy no se encarrilan las funciones intelectuales de los estudiantes mexicanos, no hay que esperar mucho para el porvenir de los Ingenieros. La raza sajona es en general observadora, poco dada á las elucubraciones abstractas, y el resultado es que los ingenieros que producen son los mas notables del mundo.¹¹⁵

De acuerdo con el título de esta clase, parece que la idea que se tuvo fué la de dar á conocer á los alumnos la aplicación de los métodos matemáticos á la investigación de las leyes naturales. Concebida bajo este plan, resulta á nuestro juicio en extremo inconveniente el estudio de esa asignatura. La razón en que nos apoyamos para creerlo es que las leyes naturales son mas claramente comprensibles y mas facilmente determinables cuando se recurre á la observación, que cuando se trata de establecerlas por el análisis. Es ciertamente grandioso, desde el punto de vista abstracto, llegar por el raciocinio apoyado en ciertas hipótesis, á conclusiones que se han demostrado por la vía experimental; pero aun cuando mucho se haya adelantado en este sentido, es evidente que el ideal á que tiende la Física Matemática, la penetración de la naturaleza íntima de la materia y de las fuerzas naturales, no se ha alcanzado aun ni con mucho, y desde el punto de vista práctico se tiene el grande inconveniente de obligar á la inteligencia á seguir por un camino sembrado de escollos, que hacen penosísima la empresa que por la vía experimental resulta sencilla (...) En los alumnos se desarrolla en grado nocivo esa exagerada tendencia a la deducción produciendo un abandono en los métodos inductivos formandose alumnos poco observadores. El método que proponen para superar esta situación fue disminuir el estudio de cosas abstractas.¹¹⁶

Como el contenido de física matemática era muy extenso e imposible de cursarlo en un año, se decidió que se reduciría a la enseñanza de los principios de termodinámica y de electricidad que les fueran útiles al ingeniero. Mariano Villamil, profesor de la cátedra, propuso que primero se estudiara mecánica y después física matemática, porque la segunda consideraba conocimientos que se debieron haber visto en la primera.

Algunos profesores opinaron que la Ley de Enseñanza Profesional del 15 de septiembre de 1897 aumentó el número de materias para las que los alumnos no estaban preparados e impedían su buen desempeño. La física matemática, aplicaciones de electricidad e hidráulica eran consideradas algunas de estas materias. Respecto al curso de aplicaciones de la electricidad se propuso suprimir la sección de electrometalurgia debido a que se estudiaba en la cátedra de metalurgia.

Francisco Garay, profesor del curso puentes, caminos y canales, criticó en 1901 el que se hubiese quitado el carácter de obligatorio al curso de *mecánica* de la Escuela Preparatoria y que brindaba apoyo a las cátedras de física de la Escuela de Ingenieros.

115 *Ibid.*, fo. 476-468.

116 *Ibid.*, fo. 466.

Sugirió que se eliminaran materias y se modificaran otras. Respecto de las de física, propuso que como la cátedra de física matemática era muy extensa, se redujera únicamente a explicar los principios de termodinámica y al estudio teórico de la electricidad para después pasar a las aplicaciones.¹¹⁷

Miguel Bustamante, profesor de mecánica aplicada, argumentaba que el alumno no estaba preparado para iniciar el estudio de materias como física matemática, aplicaciones de la electricidad e hidráulica, entre otras, en parte por los malos cursos que se impartían durante los estudios preparatorios, los cuales necesitaban una reforma trascendental. Por otra parte la enseñanza de los cursos era más teórica o “enciclopédica” que práctica y que generaba, en sus palabras:

[Que el alumno viera] con desprecio y horror a la práctica, que exige de él que ponga en juego su criterio y facultades y en caso de que cometa un error quedará allí la prueba muda, pero irrefutable de su torpeza: no sucede lo mismo en la teoría, allí unos cuantos signos algebraicos una figura esquemática, es decir un caso ideal, irrealizable en práctica, y algún hábito de las operaciones del cálculo sirve para la resolución del caso más complicado; Este sistema es tan cómodo para el alumno como para el profesor que es casi imposible que prescindan de él, y se llegue a implantar el sistema contrario.¹¹⁸

Propuso que se imitara el modelo de la escuela anglosajona, que se redujeran los conocimientos teóricos a nociones más elementales que duraran tres meses y que la parte práctica se extendiera a siete meses.¹¹⁹

Mariano Villamil propuso que se dotara de mayor equipo al gabinete de física para mejorar los cursos de física matemática y mecánica, debido a que en su opinión los estudios del ingeniero se basaban en los cursos de matemáticas y mecánica.¹²⁰

Braulio Martínez, profesor de estabilidad de las construcciones, opinaba que la cátedra de *mecánica aplicada* era la base de todas las aplicaciones que hacía el ingeniero en su profesión, por lo que sugería que su estudio fuera “más sólido y lo más práctico que se pudiera: mas taller y menos libro”.¹²¹

117 CESU, ENI, Dirección, Correspondencia. caja 3, exp. 42, fo. 345-349.

118 *Ibid.*, p. 331.

119 Dice que especialmente la americana y ojalá en un futuro fuera pan-americana. *Ibid.*, p. 342.

120 *Ibid.*, p. 331-332.

121 *Ibid.*, p. 331.

La primera década del siglo XX transcurre con las mismas sugerencias para mejorar las cátedras de física y por lo tanto la formación de los ingenieros, que los cursos fueran más experimentales y prácticos y menos teóricos, para "que las experiencias tuvieran un interés más industrial que especulativo". Esto obligó a completar el gabinete de física, así fue como se adquirió una pequeña máquina de vapor, un motor de gasolina y una turbina alemana tipo Voith. A través de los principios de física era posible saber el funcionamiento de las máquinas. Lo conveniente para asimilar mejor estos cursos, era llegar a la Escuela con conocimientos previos de física, el problema radicaba en la deficiente formación que recibían los estudiantes de los estudios preparatorios. Se recomendaba, una vez más, que se mejoraran los métodos de enseñanza de la clase de física en la Escuela Nacional Preparatoria. Para dar una idea de la opinión que tenían los catedráticos de física sobre el aprovechamiento que llegaban a obtener los estudiantes de preparatoria de sus cursos, se mencionará la opinión que en 1909 externó el Ingeniero Pedro C. Sanchez, profesor del segundo curso de mecánica aplicada:

Rarísimos son los que no confunden las calorías con las temperaturas, embrollándose con los calores específicos y dándose por vencidos al abordar el principio de Carnot (...) Natural es que me pregunte ¿qué pasa con los conocimientos de física? ¿se los han inculcado mal y han visto tales asuntos como adornos inútiles, pasando ellos como sobre ascuas, á tal grado que el alumno, meses después, ni siquiera recuerda los nombres?¹²²

4.2.2. Carreras que cursaban cátedras de física

Regresando nuevamente a los cuadros que se encuentran anexos al apéndice A, para analizar qué carreras incluyen en sus planes de estudio las cátedras de física, observamos que hasta la primera década de la segunda mitad del siglo XIX los conocimientos de mecánica, termodinámica, óptica, acústica, electricidad y magnetismo se consideraban esenciales para todas.

Con la transformación del Colegio de Minería en Escuela de Ingenieros en 1867, se definieron las cátedras que integraban los planes de estudio de cada carrera, aunque muchos

¹²² CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 41, fo. 323-324.

de los cursos seguían siendo comunes. Este año desapareció la cátedra de física experimental, y se conservó la de *mecánica analítica y aplicada*, la cual era obligatoria para todas las carreras, excepto para la de ensayador. El ingeniero geógrafo e hidrógrafo era la única carrera que cursaba además hidrografía y física matemática.

Con la reforma de la Ley de Instrucción Pública de 1883 se definieron mucho más los planes de estudios. A las carreras que se les eliminaron los cursos de física no la volvieron a tener durante el resto del siglo, en esta situación quedaron las carreras de topógrafo e hidrógrafo, y ensayador y apartador de metales. El resto de las carreras tenían que cursar mecánica analítica y aplicada, y la carrera de ingeniero geógrafo además física matemática. Poco a poco se fueron incrementando los cursos de física y se fue delineando el perfil de las carreras que los contenían. Por ejemplo, en el cuadro 4.8 se muestran las cátedras de física que se les asignaron a las diversas carreras en 1897, con el establecimiento de la Ley de Enseñanza Profesional de la Escuela Nacional de Ingenieros. Las carreras que más cursos de física tenían que acreditar fueron las del ingeniero industrial, civil, electricista, y de minas y metalurgista. La carrera de ingeniero geógrafo en menor escala, y las carreras de topógrafo e hidrógrafo y ensayador y apartador continuaron sin cursos de física.

Cuadro 4.8 Cátedras de física que se enseñaban en las distintas carreras en 1897

Carrera	Mecánica analítica	Física matemática	Mecánica general aplicada	Aplicaciones de la electricidad en prácticas	Práctica de mecánica
Ingeniero de minas y metalurgista	X	X	X		
Ingeniero industrial	X	X	X	X	X
Ingeniero civil	X	X	X	en prácticas	X
Ingeniero geógrafo	X	X			
Ingeniero electricista	X	X	X	X	X
Topógrafo e hidrógrafo					
Ensayador y apartador					

4.2.3. Población estudiantil de cada una de las profesiones

En el apéndice E se presenta una serie de diagramas, producto de un estudio estadístico que se realizó durante el transcurso de esta investigación, sobre el número de alumnos titulados en todas las profesiones en el periodo que va de 1859 a 1899. De la gráfica E.1 a la gráfica E.10, se presenta el número de egresados por año y por carrera. En la gráfica E.11 y E.12 se organizaron los datos anteriores en diagramas porcentuales y de barras, para poder visualizarlos en conjunto. Como se mencionó en el capítulo tercero, el título de las carreras cambió frecuentemente, para algunas representaba sólo un cambio de nombre, mientras que para otras implicaba su cancelación. Con el objeto de visualizar e interpretar mejor los datos en esas gráficas, se decidió agrupar los datos de las carreras afines. Es así como se ha sumado el número de alumnos titulados de la carrera de ingeniero civil con la de ingeniero de caminos, puertos y canales; la de ingeniero industrial con la de ingeniero mecánico; la de agrimensor con la de ingeniero topógrafo e hidrógrafo; y por último la de telegrafista con la de ingeniero electricista, dando lugar a las gráficas E.13 y E.14. De estas gráficas se puede observar que el mayor número de titulados que era del 33% correspondían a las carreras de agrimensor y de ingeniero topógrafo e hidrógrafo; en segundo lugar se encuentra con el 26% la de ensayador; en tercer lugar cae con 20% las carreras de ingeniería civil y la de caminos y puertos y canales, le sigue la de ingeniero de minas con el 17%. Las carreras que les continúan, en mucha menor proporción, son las de ingeniero geógrafo con el 2% y con el 1% tanto ingeniero industrial y mecánico como las de telegrafista e ingeniero electricista. Hay que tomar en cuenta que la creación de algunas carreras fue más tardía que las de otras; por ejemplo, la carrera de ingeniero civil se creó después de la de ensayador, topógrafo y minas. Aunque la carrera de ingeniero mecánico, industrial, telegrafista y electricista también se crearon después, debe de existir una explicación más que justifique estos datos numéricos. Algo similar se debe buscar para justificar el bajo porcentaje de la carrera de ingeniero geógrafo.¹²³

¹²³ En 1870 se establecieron las actividades que se debían llevar a cabo en las prácticas, casualmente se especificaban las de las carreras de ingeniero topógrafo, ensayadores y apartadores, ingeniero civil y el ingeniero de minas, que eran las carreras de mayor demanda estudiantil. En cambio, las carreras de ingeniero geógrafo e ingeniero mecánico no fueron mencionadas. Ver CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 39, fo. 300-320.

Si comparamos estos resultados con los de la sección anterior, resulta que las carreras de mayor demanda son las que no llevan cursos de física y además son las de menor duración; esto es, las carreras de topógrafo e hidrógrafo y la de ensayador y apartador de metales. El hecho de que sean las carreras de menor duración podría explicar estos porcentajes, porque los alumnos egresaban con mayor frecuencia, sin embargo, esta explicación no es suficiente, porque la carrera de telegrafista y electricista también fueron de corta duración. Ahora, las carreras de ingeniero de minas y metalurgista, la de ingeniero civil y la de ingeniero de caminos, puertos y canales fueron siempre de larga duración y el porcentaje de egresados no es tan bajo. Deben de existir otros elementos que permitan explicar este comportamiento.

4.2.4. Reflexión sobre la educación del ingeniero en el siglo XIX: eliminar, fusionar y crear nuevas carreras

Francisco Garibay, profesor de aplicaciones de la electricidad, realizó en 1901 un análisis del estado de las profesiones de la Escuela Nacional de Ingenieros. El problema del por qué casi nadie quería estudiar las carreras de ingeniero industrial, electricista y geógrafo lo explicaba de la siguiente manera:

a) Decía que los ingenieros geógrafos no tenían más perspectiva que desempeñar un puesto en alguna de las comisiones del gobierno y como estos no eran abundantes, sugirió aumentar los cursos del ingeniero topógrafo y disminuir los del geógrafo para fusionar ambas carreras y crear la de ingeniero geómetra, la cual podría prestar sus servicios al público y al gobierno como lo hacía el topógrafo,

b) Consideraba que los estudiantes no se querían dedicar a la carrera de ingeniero industrial, porque:

(...) en dicha carrera hay dos ciencias que la dominan y para cuyo conocimiento profundo se requiere dotes muy diferentes y difíciles de encontrar en una misma persona, me refiero a los conocimientos de orden mecánico y químico.¹²⁴

Además criticaba el hecho de que los cursos de mecánica analítica y física matemática se enseñaran al mismo tiempo, si el segundo dependía de lo que se veía en el primero.¹²⁵ Respecto a la carrera de electricista, insistía en que no iba a dar resultados mientras no se adquirieran los instrumentos y útiles necesarios. Propuso fusionar las carreras de ingeniero industrial y electricista para crear dos nuevas: la de ingeniero mecánico y electricista y la de ingeniero químico, considerando que la parte de metalurgia se pasara a la carrera de ingeniero minero.

c) Propuso, además, que a la carrera de ensayador y apartador de metales se le suprimiera lo de apartador de metales y aumentara la duración de los cursos, ya que su campo de trabajo se había extendido más allá de realizar ensayos de oro y plata en las casas de moneda.

Reprochó, así también, el hecho de que los profesores vieran sus cursos como el más necesario e indispensable y no como un curso que formaba parte de un

conjunto armonioso, encadenado y lógico. En la actualidad los diversos cursos que se enseñan, pueden considerarse como una suma impracticable, por ser los sumandos cantidades completamente heterogéneas.¹²⁶

Miguel Bustamante, profesor de mecánica aplicada, también en 1901 insistió en que ni los programas de los cursos ni su distribución en los diversos años de la carrera presentaban la unidad de un plan que contribuiría al éxito. Propuso que se eliminara la carrera de electricista "pues todo ingeniero está obligado hoy a conocer el ramo de electricidad y sus aplicaciones".¹²⁷ Además sugirió que ingenieros competentes criticaran los programas y planes de estudio. Luis Salazar, profesor de estabilidad de las construcciones, opinaba lo contrario respecto a la carrera de ingeniero electricista, decía que se debería de ampliar la enseñanza tanto práctica como teórica para mejorar la especialidad.

¹²⁴ *Ibid.*, fo. 350.

¹²⁵ Esto mismo opinó Mariano Villamil, *Ibid.*, fo. 338.

¹²⁶ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 42, fo. 350.

¹²⁷ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 42, fo. 332.

En cambio, opinaba que la que se debería de suprimir era la de ensayador e incluirla dentro de la del ingeniero de minas, ya que las probabilidades de encontrar ocupación disminuían conforme los extranjeros se apropiaban de la actividad minera.¹²⁸

Adolfo Díaz Rugama opinaba que los egresados de la escuela mostraban una falta de preparación y carencia absoluta en conocimientos prácticos y pocas aptitudes para el ejercicio de su profesión. Comentó que tiempo atrás se expidió una ley que no dió resultado y que establecía que se crearían las especialidades de ingeniería según la demanda social y cursos fundamentales y especiales para cada profesión.¹²⁹ Proponía, entre otras soluciones, el estimular con premios a los alumnos y dotar de buenos sueldos a los profesores.¹³⁰ Insistía en que uno de los problemas se concretaba a la exagerada enseñanza teórica ya que, decía:

El sabio hace adelantar la ciencia, el práctico se conforma con aplicar sus principios vulgares. Hoy un estudiante de Minería, sabe resolver las integrales del curso de mecánica, pero no puede calcular un receptor de vapor, hidráulico, eléctrico, etc. Frente a una máquina busca en su memoria aquellas difíciles ecuaciones y no se le ocurre medir la carrera del émbolo, el diametro del pistón, el número de golpes por segundo, etc. (...) con 4 fórmulas se resuelven todos los problemas vulgares de la construcción civil, y los alumnos aprenden 50 ó 100 sin entender ninguna".

Suponía que los males de la escuela se debían a los profesores y a la manera en que daban su clase, más que a los alumnos mismos.

En resumen, la mayor parte de los profesores coincidían en que los alumnos llegaban a la escuela con una deficiente preparación en los estudios preparatorios, especialmente en matemáticas y mecánica. Existía una falta de comunicación entre los profesores en lo que se refiere al contenido de sus cursos, que generaba tanto la repetición de conocimientos como una mínima relación entre los mismos, lo cual impedía que los cursos tuvieran "hilación y concordancia". Era necesario aumentar el número de años de las carreras y aumentar el carácter práctico de los cursos (menos teoría). Estimular a los alumnos con premios y promover que los profesores redactaran sus propios libros de texto

128 *Ibid.*, fo. 357.

129 *Ibid.*, fo. 473.

130 *Ibid.*, fo. 474.

adoptados a las necesidades del país, o cuando menos que se modificaran las obras de texto extranjeras seleccionadas para un curso para adecuarlas a los programas.

No todos opinaban así. Manuel Fernández Leal, presidente de la Asociación de Ingenieros y Arquitectos, afirmaba:

Que la instrucción recibida en la Escuela era bastante sólida y completa, demostrada especialmente cuando los ingenieros mexicanos tenían que desempeñar trabajos en unión de ingenieros extranjeros. Si se había criticado la educación teórica [decía Fernández Leal] ésta había ido desapareciendo con el tiempo. Gracias al desarrollo que habían alcanzado las obras de ingeniería, tanto privadas como públicas, los nuevos profesionistas podían realizar sus prácticas más fácilmente. Nadie podía negar la gran contribución que el ingeniero había aportado al progreso del país en las vías de comunicación, en las relaciones comerciales, etc.¹³¹

Esta discrepancia de opiniones refleja que hacen falta considerar otros elementos externos al colegio que permitan interpretar esta situación. Una posible explicación se presenta en el siguiente capítulo.

¹³¹ Manuel Fernández Leal fue varias veces director de la Escuela y ministro de Fomento de 1891 a 1900. Bazant, M., 1992, *op. cit.*, p. 180.

V. LA FÍSICA APLICADA Y SU RELACIÓN CON LA INDUSTRIA

5.1. En busca de una interpretación

En el capítulo anterior se encontró una estrecha relación entre las carreras que menor demanda tuvieron, como la de ingeniero electricista y la de ingeniero industrial, con un número mayor de cursos de física en su currícula. Mientras algunos catedráticos justificaban esta relación como un problema de tipo académico, por ejemplo, de exceso de materias científicas, falta de mayores cursos prácticos, que eran carreras nuevas que provocaban desconfianza o que sus planes de estudio no estuvieron bien orientados, otros pensaban que eran carreras que habían surgido de la industrialización y que su problema radicaba en que los puestos importantes eran ocupados por profesionistas extranjeros y por lo tanto no había demanda social.

Con la idea de buscar una interpretación que permita explicar adecuadamente esta situación se ha utilizado la metodología de la historia social de la ciencia para poder entender cómo la ciencia influyó en el desarrollo industrial, y viceversa; cómo se fortaleció la formación profesional en países desarrollados y cómo repercutió en los subdesarrollados, en este caso en México. Al respecto, coincido con Bernal y Latour en que ha sido un gran problema el que la historia de la política, de la economía, de la técnica y de la ciencia se hayan hecho por separado y que para entenderlas en su justa dimensión hacen falta análisis de conjunto.¹

5.1.1. La ciencia y el régimen capitalista

Bernal considera que de 1850 a 1890 el capitalismo se desarrolló hasta convertirse en el modo dominante de producción. Coloca al factor económico como el factor dominante al comienzo del período que hizo viable el surgimiento de la ciencia experimental, la cual

¹ Bernal, J. D., *La Ciencia en la Historia*, Editorial Nueva Imagen, UNAM, 1986; Latour, B., *Science in Action*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1986

condujo a cambios cada vez más rápidos en la técnica y en la ciencia misma hasta transformarla en el factor dominante al final del periodo. Comenta:

Los éxitos prácticos obtenidos por la ciencia contribuyeron efectivamente al siguiente gran avance técnico, que fue la Revolución Industrial. Entonces fue cuando la ciencia rebasó felizmente su momento crítico, asegurándose de modo permanente su lugar como parte de las fuerzas productivas de la sociedad. Desde una perspectiva histórica general, este hecho fue mucho más importante que los acontecimientos políticos o económicos de la época; porque el capitalismo únicamente representa una etapa transitoria en la evolución económica de la sociedad, mientras que la ciencia es una adquisición permanente de la humanidad. Si bien el capitalismo sirvió primero para hacer posible a la ciencia, después la ciencia ha servido para hacer innecesario el capitalismo.²

El mismo autor le atribuye un carácter de no accidental al hecho de coincidir en los mismos países las principales contribuciones científicas con los cambios técnicos que impulsaron el desarrollo industrial y el establecimiento del capitalismo. El éxito y el reconocimiento público que adquirió la ciencia en los siglos XVIII y XIX, a costa de muchos sacrificios, luchas y sufrimientos, la colocó como el camino que conducía a la prosperidad y el progreso ilimitado. La interacción que se produjo entre la ciencia y el capitalismo, además de transformarlos a ellos mismos, repercutió hasta en las vidas de todos los hombres del mundo.³

El papel de la ciencia en la industria cobró fuerza a mediados del siglo XIX, pues se crearon industrias cuyo soporte primordial provenía del seno de la ciencia, como fue el caso de la industria química y eléctrica. De esta manera la ciencia se convirtió en el agente principal del desarrollo técnico, siendo en el siglo XX cuando se incorporó completamente al proceso productivo.⁴

Los avances que se dieron a finales del siglo XVIII y principios del XIX en las ingeniería mecánica, química y eléctrica condujeron a la integración de la ciencia en el mecanismo productivo.⁵ Paralelo al desarrollo de la industria surgieron nuevos medios de transportes como los ferrocarriles (para conectar los centros industriales) y los buques de vapor (para transportar los productos). Como respuesta a esta necesidad surgió una nueva

² Bernal, J. D., 1986, *op. cit.*, p. 360.

³ *Ibid.*, p. 481.

⁴ Basalla, G., *La evolución de la tecnología*, Editorial Grijalbo, S. A., de C. V., 1991.

⁵ Bernal, J. D., 1986, *op. cit.*, p. 520.

profesión, la de los ingenieros mecánicos, al mismo tiempo que se impulsó una profesión antigua, la de la ingeniería civil, la cual se había encargado, desde el siglo XVIII, de construir los canales, caminos y puentes.⁶ La ingeniería mecánica también se desarrolló por la necesidad de introducir el uso de los metales (como el hierro y el acero) en la construcción de máquinas y herramientas. Las aplicaciones matemáticas más elaboradas de la mecánica newtoniana fueron empleadas por la ingeniería mecánica para realizar cálculos con anticipación y asegurando el buen funcionamiento de las máquinas y la construcción con precisión de piezas intercambiables.⁷ El ingeniero electricista surgió con el telégrafo y el tiempo, debido a que se convirtió en la primera aplicación práctica de la electricidad. El telégrafo suministraba noticias con rapidez y esto significaba dinero, de aquí la importancia de optimizar la transmisión a cortas distancias. Fue en las escuelas técnicas y en los departamentos de física en las universidades, donde se desarrolló la mayor parte de las contribuciones que se hicieron en el último tercio del siglo XIX.

Por otra parte, la introducción de la electricidad a la industria tuvo lugar a finales del siglo XIX y no por cuestiones técnicas, sino económicas; esto es, a las industrias que requerían de una fuerza motriz relativamente grande les convenía el uso de la hulla como combustible (para máquinas de vapor, locomotoras, etc.), mientras que aquellas que requerían de una fuerza más pequeña les convenía usar el motor de combustión interna de gas. Cuando la electricidad se pudo generar y distribuir para suministrar luz eléctrica tanto para uso doméstico como industrial, el uso de esta energía se abarató considerablemente. Así, su introducción en la industria eléctrica pesada trajo como consecuencia la creación de los laboratorios de investigación industrial.⁸

⁶ Los cortes y los túneles que se hacían para construir éstos, despertaron el interés por la geología ya que revelaban la estructura de las rocas. Por otro lado, "el desarrollo de la profesión del agrimensor suministró una nueva fuente de interés para las ciencias geográficas y geológicas". *Ibid.*, p. 526.

⁷ *Ibid.*, p. 571.

⁸ *Ibid.*, pp. 540-541.

A mediados del siglo XIX se encontraba en crecimiento la industria química que en un principio apoyó a la industria textil y posteriormente a la agricultura y a la medicina, obteniendo con esto un reconocimiento institucional.⁹

Dada la importancia que adquirió la ciencia durante el siglo XIX, tanto empresas privadas como algunos gobiernos le asignaron recursos para su fomento esperando algo de ella. Se empezaron a fundar asociaciones para promover el desarrollo científico, como la Asociación Británica para el Progreso de la Ciencia fundada en Inglaterra en 1831, y la *Deutcher Naturforscher Versammlung* fundada en Alemania en 1822. La primera fue una empresa privada que sirvió para popularizar la ciencia y para promover y financiar la investigación en interés de la nación, en áreas como la sismología, meteorología, electricidad, geología, biología, mareología y magnetismo. Posteriormente se crearon institutos que realizaron estas labores, como el Laboratorio Nacional de Física.¹⁰ Dentro de la organización de la ciencia en este siglo, tuvo lugar un elemento innovador, la creación del laboratorio de investigación industrial y el incremento de los laboratorios de investigación en las universidades. Poco a poco fueron surgiendo sociedades que contaban con sus propias revistas para publicar sus investigaciones. Los ingenieros también comenzaron a asociarse y a trabajar en institutos.

El progreso que experimentó la ciencia en el siglo XIX fue tan amplio que las diversas áreas de la ciencia se ampliaron al grado de crearse nuevas ramas. Por ejemplo el principio de conservación de la energía surgió del estudio de la transformación de la hulla en fuerza motriz y su estudio sistemático relacionado con esos problemas llevó al establecimiento de la ciencia de la termodinámica.¹¹ Por otra parte, los partidarios de la teoría de la evolución consideraban el progreso como el producir más máquinas, más invenciones, mayor acumulación de riqueza y más comodidades, inmersa dentro de toda una estructura industrial, académica, científico-técnica, cultural, económica. etc.¹²

⁹ *Ibid.*, pp. 514-527.

¹⁰ *Ibid.*, pp. 528-529.

¹¹ *Ibid.*, pp. 433-532.

¹² *Ibid.*, p. 536.

La hegemonía de la industria inglesa empezó a decaer en el último tercio del siglo XIX ocupando su lugar Francia, Alemania y los Estados Unidos. En particular, Alemania adquirió una considerable ventaja científica sobre Francia y Gran Bretaña. Su idioma llegó a considerarse el idioma internacional y el profesor alemán en el modelo intelectual. Todo esto producto de una alianza que los científicos mismos establecieron con los militares y los grandes capitalistas.¹³

5.1.2. La física y las profesiones bajo el régimen capitalista dependiente mexicano del siglo XIX

A diferencia del siglo XVIII, donde la economía de la Nueva España, en opinión de Coatsworth,¹⁴ no estaba tan distante de la de Estados Unidos, después de la Independencia el país entró en desgastantes guerras que provocaron una gran distancia, misma que existe hasta nuestros días.

Mientras en México se luchaba por construir un Estado que pudiera insertarse en la estructura capitalista mundial, en Europa el capitalismo se encontraba en expansión a través del mercado mundial. Su dinámica de expansión industrial descansaba en el control tanto de los abastecimientos de productos primarios como de la red de comercialización de los países periféricos en el mercado mundial.

Durante el periodo que va de 1821 a 1867 no se gozó de un crecimiento o equilibrio económico por las graves crisis y por una penuria de recursos.¹⁵ Su subsistencia se

¹³ *Ibid.*, p. 584.

¹⁴ Coatsworth, J. H., *Los orígenes del atraso*. México, Editorial Patria, S. A., Alianza Editorial Mexicana, 1990.

¹⁵ Florescano E., Lanzagorta, M. R., "Política económica", en *La economía en la época de Juárez*, México, Secretaría de Industria y Comercio, 1972, p. 75.

sustentaba en la exportación de materias primas y en la importación de artículos manufacturados, aunque la minería y la agricultura pasaban por severas carencias.¹⁶

El Estado que emergió al término de la guerra de Reforma delineaba un perfil de carácter capitalista que se enfrentaba a un caos social, con una grave desorganización administrativa y un gran endeudamiento. Parte de su política consistió en impulsar la actividad de los empresarios particulares, estimular la agricultura, los transportes y el comercio, pero en lo que se refería a la industria ésta se mantuvo relegada.¹⁷ Entre las medidas de orden económico que se llevaron a cabo se encontraban la atracción del capital extranjero y la introducción de industrias y técnicas modernas, las inversiones extranjeras se destinaron en su mayoría a la construcción de obras públicas y al comercio, aunque no tuvieron la respuesta que se esperaba. Con menos vacilación que Juárez, Porfirio Díaz tomó como base la inversión extranjera y las exportaciones constituyeron los aspectos predominantes en el desarrollo: se promovió el desarrollo del sistema de transporte interno para ampliar el mercado disponible para los productores nacionales, preparando con esto el panorama para el inicio de la gran industria moderna.¹⁸ Los capitales del exterior desempeñaron un importante papel en el ahorro interno del país, el cual podía verse como una mina -dice Rosenzweig¹⁹ - cuyo dueño carecía del capital necesario para trabajarla, así que los empresarios extranjeros pusieron su capital y el conocimiento tecnológico necesarios para el desarrollo de los recursos del país, porque en México estos factores estaban ausentes.²⁰ La relación que se estableció entre los empresarios extranjeros y la élite nativa²¹ afectó el desarrollo económico, político y social del país,²² porque las enormes

¹⁶ Flores Caballero, R., "Etapas del desarrollo industrial", en *La economía en la época de Juárez*, México, Secretaría de Industria y Comercio, 1972, p. 154.

¹⁷ San Juan Victoria, C., Velázquez Ramírez, S., "La formación del Estado y las políticas económicas (1821-1880)", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1981, pp. 65-96.

¹⁸ Vernon, R., "Juárez y Díaz", en *Historia económica de México*, Enrique Cárdenas Compilador, México, Fondo de Cultura Económica, 1992, p. 41.

¹⁹ Rosenzweig, F., "El desarrollo económico de México de 1877 a 1911", en *Historia económica de México*, Enrique Cárdenas Compilador, México, Fondo de Cultura Económica, 1992, p. 54.

²⁰ Wasserman, M., "La inversión extranjera en México, 1876-1910": un estudio de caso del papel de las élites regionales", en *Historia económica de México*, Enrique Cárdenas Compilador, México, Fondo de Cultura Económica, 1992, p. 268.

²¹ Una élite que según López Cámara está integrada principalmente por el clero y los grandes propietarios de la tierra, debido a que la burguesía comercial e industrial estaba limitada por ser sectores que dependían del extranjero. Ver López Cámara, F., *La estructura económica y social de México en la época de la Reforma*, México, Siglo XXI, 1967, p. 210.

²² Wasserman, *op. cit.*, p. 267.

inversiones extranjeras unidas a las cuantiosas exportaciones de materias primas eran posibles en la medida en que se explotaban a los trabajadores mexicanos y la clase dirigente se doblegaba ante los intereses extranjeros. Esta situación fue muy clara durante el Porfiriato, periodo en el cual se depreciaron los valores mexicanos y se elevaron los intereses extranjeros,²³ quienes veían a nuestro país como fuente de materias primas y mercado donde colocar sus productos manufacturados, de aquí que la mayor parte de sus inversiones estuvieran colocadas en empresas ferrocarrileras y en industrias extractivas, principalmente en la minería y en menor escala en la industria de transformación.²⁴

Todo lo extranjero empezó a abundar en nuestro país, desde la maquinaria hasta los técnicos y profesionistas. En los ferrocarriles, por ejemplo, éstos se construían y operaban con rieles, locomotoras y material rodante, refacciones, puentes de hierro y personal de supervisión e ingeniería importados del extranjero. A veces también se traían del extranjero el combustible, los durmientes para el tendido de las vías y los trabajadores no calificados.²⁵ La construcción de las plantas industriales solían hacerla los ingenieros europeos o estadounidenses.

Los extranjeros establecieron las jerarquías en el ámbito laboral de tal manera que los puestos más elevados siempre eran ocupados por gente de sus mismos países, incluyendo los trabajos que requerían de un apoyo profesional. Esto ocasionó una discriminación hacia los ingenieros mexicanos, aunque no en todas las profesiones, sólo aquellas donde la competencia extranjera fue ineludible; este fue el caso de los ingenieros mecánicos, los ingenieros industriales y los ingenieros electricistas. Los ingenieros civiles y los ingenieros mineros también se vieron afectados, aunque no en la misma medida, ya que estos tenían la opción de conseguir empleo en el gobierno. A continuación veremos con un mayor acercamiento la interacción de los ingenieros mexicanos con los inversionistas extranjeros en tres rubros: la minería, la industria de transformación y los ferrocarriles.

²³ Vernon, R., *op. cit.*, p. 42.

²⁴ Rosenzweig, F., *op. cit.*, pp. 71-72.

²⁵ Coatsworth, J. H., "Los ferrocarriles, indispensables en una economía atrasada: el caso de México", en *Historia económica de México*, Enrique Cárdenas Compilador, México, Fondo de Cultura Económica, 1992, p. 222.

a) Sector minero

Durante la época colonial, la minería, la agricultura y el comercio conformaban la base económica del país. En la primera década del siglo XIX la explotación de la plata representaba el 66% de la producción mundial. Al término de la guerra de Independencia la minería había quedado en un estado de crisis y no se contaba con capital para rehabilitarla, lo que condujo a autorizar a la Gran Bretaña para que invirtiera en este rubro. Se formaron con capital británico siete compañías, de las cuales sólo sobrevivió una, la *United Mexican Mining Association*. Nava Oteo y Urrutia de Stebalski,²⁶ consideran que algunas de las causas que ocasionaron estos fracasos fueron: la infraestructura tan precaria que poseía el país en materia de instalaciones, caminos y transportes; el importar mercurio a un precio mayor que el que España le ofrecía antes de romper relaciones; el introducir maquinaria y conocimientos técnicos europeos sin considerar las condiciones locales de la minería mexicana,²⁷ los fracasos que se dieron al tratar de acondicionar máquinas de vapor para el desagüe y la extracción de minerales. Con esto se mostraba, una vez más, que la tecnología, "producto del desarrollo de las fuerzas productivas de un país industrializado, no podía ser aplicada a otro en donde aún se carecía de la más mínima infraestructura".²⁸

A partir de la segunda mitad del siglo XIX el gobierno mexicano se interesó por la explotación de los metales no preciosos. Juárez, por ejemplo, comisionó a ingenieros mexicanos y extranjeros para que llevaran a cabo la exploración científica del territorio en busca de hierro y carbón, incluso debían elaborar propuestas para mejorar la legislación minera.²⁹ De hecho, el que México contara con el apoyo del Colegio de Minería facilitó el reconocimiento de los recursos naturales, en este caso de los minerales del país:

En el siglo XIX la explotación de las minas y la industria metalúrgica fueron guiadas crecientemente por las luces científicas, en particular debido al Colegio de Minería. En la cátedra, en el libro y en

²⁶ Urrutia de Stebalski, M. C.; Nava Oteo, G., "La minería (1821-1880)", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso, Coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1981, pp. 121-127.

²⁷ En el primer capítulo de este trabajo se mencionó una situación similar que tuvo lugar en la época colonial, cuando Fausto de Elhuyar acompañado de varios mineralogistas europeos fracasaron en su intento de introducir máquinas y métodos de amalgamación europeos sin tomar en cuenta las condiciones locales. Ver Saldaña, J. J., "Nacionalismo y Ciencia Ilustrada en América", en *Ciencia, Técnica y Estado en la España Ilustrada*, J. Fernández e I. González (eds.), Madrid, Ministerio de Educación y Ciencia, 1990, pp. 115-129.

²⁸ Urrutia de Stebalski, M. C.; Nava Oteo, G., *op. cit.*, pp. 124-129.

²⁹ En este proyecto participó el ingeniero mexicano y catedrático del Colegio de Minería Antonio del Castillo.

algunas publicaciones periódicas se reflejaron, cada vez con mayor intensidad, los grandes adelantos que se estaban dando en la geología, la química mineral, la topografía, la ciencia mineralógica y las aplicaciones de la mecánica. A una muy numerosa bibliografía publicada en el país del Ministerio de Fomento, creados en abril de 1853, que proporcionan datos estadísticos. Todo ello permitió un mejor conocimiento de los recursos naturales con que contaba México en la minería.³⁰

El personal con adiestramiento técnico era el mejor remunerado dentro del trabajo minero. Este tipo de personal aumentó durante el porfiriato producto de los avances técnicos en la explotación y la metalurgia.³¹ Fue hasta el decenio de 1871 a 1880 que la producción de plata recuperó el nivel de la década de 1801 a 1810.³² Esto era de vital importancia para la economía nacional, ya que la actividad minera participaba como base del comercio exterior del país. La introducción de ferrocarriles produjo un fuerte impulso en la actividad minera, porque conectaron a sectores antes incomunicados, facilitaron el transporte y por lo tanto la introducción de maquinaria grande y pesada para aumentar la producción de los minerales, redujeron las tarifas de cargas para minerales y suministros, y rebajaron el costo tanto de la exportación de los productos minerales como el de importación de materiales extranjeros. Para darnos una idea de la importancia que revestía el ferrocarril en la minería, Bernstein³³ cuantificó que de los 44 ferrocarriles registrados en el *Mexican Year Book for 1908*, 21 de ellos estaban dedicados al transporte de minerales y otros tres tenían negocios con minerales.

En el último tercio del siglo XIX, la minería recibió un impulso al sustituir la fuerza animal y humana por la fuerza hidráulica, luego por la máquina de vapor y finalmente por la energía hidroeléctrica.³⁴ Con la introducción de la electricidad y el uso del motor eléctrico, la mecanización se extendió con rapidez, y sus usos en los diversos procesos que iban desde la extracción hasta el beneficio del mineral se optimizaron, lo que repercutió en un aumento considerable de la producción minera, la cual, además del oro y la plata, se había extendido al antimonio, cobre, mercurio, plomo, zinc, carbón, fierro, grafito y

³⁰ *Ibid.*, p. 134.

³¹ Nava Oteo, G., "La minería bajo el porfiriato", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso Coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1980, p. 345.

³² Urrutia de Siebalski, C., Nava Oteo, G., *op. cit.*, p. 127.

³³ Bernstein, M. D., "La modernización de la economía minera", en *Historia económica de México*, Enrique Cárdenas Compilador, México, Fondo de Cultura Económica, 1992, p. 241.

³⁴ Nava Oteo, G., *op. cit.*, p. 353.

algunos combustibles como el petróleo y el carbón.³⁵ El destino primordial de esta producción era el extranjero, principalmente Europa y Estados Unidos. Nava opina que el incremento productivo minero no benefició al país, porque los metales en lugar de ser aprovechados en el interior, fueron exportados y los metales preciosos como la plata, habían bajado de valor en el mercado mundial.³⁶

La actividad minera proveía de empleos a los profesionistas egresados de la Escuela de Ingenieros. Los ensayadores podían trabajar en el gobierno en las casas de moneda, en compañías mineras y en las haciendas de beneficio aunque los salarios eran bajos; también tenían la opción de abrir una oficina al público donde podían ganar más, en caso de tener éxito. Los ingenieros de minas se ocupaban en la industria minera con buenos sueldos, aunque su labor era por lo regular peligrosa y desgastante.³⁷ No obstante, sus salarios no se podían comparar con aquellos que percibían los ingenieros norteamericanos y alemanes que las empresas extranjeras preferían contratar con el argumento de que:

(...) conocían mejor los procedimientos industriales de análisis químico que se seguían en los Estados Unidos, más sencillos y rápidos que los complejos procedimientos químicos europeos que se enseñaban en la Escuela de Ingenieros, y más adaptados a las minas mexicanas.³⁸

Era tal el acaparamiento de los puestos por los extranjeros, que el ingeniero Luis Salazar, profesor de estabilidad de las construcciones, propuso en 1901 que se suprimiera la carrera de ensayador para que se dejaran a los ingenieros de minas los pocos empleos que quedaban.³⁹ De hecho en las gráficas E.3 y E.4 localizadas en el apéndice E, se observa como el número de estudiantes titulados en la profesión de ensayadores tiende a disminuir en las tres últimas décadas del siglo XIX mientras que el número de alumnos titulados como ingenieros de minas mostró una tendencia de aumento en las dos últimas décadas, con fluctuaciones en determinados años.

³⁵ Por primera vez el método de beneficio de patio fue desplazado con la electricidad y el cloruro. *Ibid.*, p. 351 y 356.

³⁶ *Ibid.*, p. 379.

³⁷ Bazant, M., 1992, *op. cit.*, p. 171.

³⁸ Aún en los puestos de peón que eran los más bajos, los extranjeros ganaban más. Ver Pletcher, D., *Rails, mines and progress: seven american promoters in Mexico, 1867-1911*, Ithaca, New York, Published for the American Historical Association, 1958, p. 238.

³⁹ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 42, fo. 357.

b) Las industrias de transformación

En la primera mitad del siglo XIX se produjeron varios intentos de mecanizar los sectores textiles, artesanales y algunas fábricas. Varios fueron los factores que dificultaron el inicio de estos proyectos, uno de los principales eran los obsoletos medios de transporte que impidieron en varias ocasiones que las máquinas solicitadas al extranjero llegaran del puerto de Veracruz a sus destinos.⁴⁰

Aunque ciertas partes de la industria textil iniciaron un breve proceso de modernización de 1830 a 1840, mientras que el sector manufacturero se mantuvo como pequeños talleres artesanales. Para 1862 el sector textil había importado maquinaria y se encontraba en una dependencia total, tanto en asesoría técnica como en importación de piezas de reposición.⁴¹

Fue hasta el periodo del Porfiriato que el sector industrial se vio favorecido por el avance que se había dado en los transportes y comunicaciones; en particular, el mercado nacional se vio expandido gracias a la introducción de los ferrocarriles y a la abolición de las aduanas internas.⁴² Para México el ferrocarril constituyó la mayor innovación técnica del siglo XIX, ya que le permitió conectar y crear mercados de dimensiones significativas para la producción industrial nacional y de exportación.⁴³ De 1888 a 1910 la mecanización que sufrió el ramo textil no tuvo precedentes y la maquinaria se importaba de Inglaterra, Alemania, Estados Unidos y Francia. Asimismo una transformación similar se dio en las

⁴⁰ Cardoso, C., "Las industrias de transformación (1821-1880)", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Editorial Nueva Imagen, 1981, pp. 147-165.

Aún la intención de crear instituciones destinadas a impulsar el desarrollo industrial, como el Banco de Avío y la General de la Industria Nacional no fructificó debido a los diversos intereses de los partidos en pugna. Proyecto propuesto, desde 1837, por el exalumno del Colegio de Minería Lucas Alamán, con el propósito de agrupar a los interesados de todos los sectores para fomentar la instalación de fábricas de maquinaria. La Dirección General se fundó el 2 de diciembre de 1842. Ver Flores Caballero, R., *op. cit.*, p. 110-112.

⁴¹ En 1862 la industria fabril se clasificaba por su importancia de la siguiente manera (por orden decreciente): textiles e indumentaria, tabaco, fierro y metales, industrias químicas, industrias de papel, alimentos y bebidas, cerámica y vidriería, y otras. Cardoso, C., *op. cit.*, pp. 154-159.

⁴² Cardoso, C., Reyna, C., "Las industrias de transformación (1880-1910)", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso, Coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1981, pp. 381-404.

⁴³ Guajardo, G., *Ferrocarriles, educación técnica e industrial metalúrgica en México: desarrollos y frustraciones 1873-1925*, Tesis (asesor J. J. Saldaña), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1994.

fábricas azucareras, los molinos de trigo, las fábricas de cigarros y puros, la industria cervecera y muchas otras. De esta manera se adquirió una dependencia total en el terreno tecnológico con el exterior.⁴⁴ También en el caso de la adquisición y transmisión de conocimientos técnicos, la dependencia del extranjero fue total en todos aquellos sectores en los que se observaron intentos de modernización. Quienes ocuparon los puestos que exigían una formación tecnológica eran los ingenieros estadounidenses, ingleses, alemanes y franceses. Las fuerzas mismas de las estructuras del mercado internacional condujeron a la dependencia comercial de México hacia Europa. Poco a poco los extranjeros residentes empezaron a invertir en varios sectores, especialmente en el textil y minero, al mismo tiempo que políticos y empresarios mexicanos trataban de impulsar estos sectores al introducir las máquinas.⁴⁵ La mayor parte de las excolonias españolas se convirtieron en abastecedores de las materias primas de los países industrializados, y, en menor medida, como compradores de sus manufacturas, fortaleciendo aún más las economías europea y norteamericana. Así fue como se marcó la división internacional de trabajo entre países productores de bienes primarios y aquellos productores de manufacturas.⁴⁶

En particular, los ingenieros europeos y estadounidenses eran los que estaban a cargo de la supervisión de la construcción de las instalaciones de las plantas industriales, esto debido a que la maquinaria era importada. Por ejemplo, la primera gran instalación hidroeléctrica que se efectuó en un centro industrial localizado en Puebla (en 1898), contó con instalaciones eléctricas que fueron proporcionadas por la compañía Pelton Weel de Nueva York y se contrató al ingeniero J. W. Ebert para que elaborara un sistema

⁴⁴ La industria pesada surgió por la necesidad de realizar respuestos y reparaciones ferroviarios y por otros sectores industriales. Por ejemplo, la industria del cemento surgió por las crecientes obras públicas que se tenían que realizar, y la industria de la dinamita, por necesidades de la actividad minera. El crecimiento industrial tuvo lugar principalmente en el centro del país (Distrito Federal, Estado de México, Puebla, Guanajuato, Jalisco); hacia el norte (Monterrey) y la región del Golfo (Orizaba), *Ibid.*, pp. 396-401.

⁴⁵ Cardoso, C., "Características fundamentales del período 1821-1880", México en el siglo XIX (1821-1910), Editorial Nueva Imagen, 1981, p. 57.

⁴⁶ A partir de 1877 se dió el cambio en la importación de los bienes de producción superan los de consumo del período anterior, esto es, las mercancías destinadas a la producción de otros bienes (industrializados), producto de las demandas establecidas por aumento en la construcción de ferrocarriles, el establecimiento de industrias ligeras y la de plantas minerometalúrgicas. Asimismo se importaron manufacturas de primera necesidad, artículos de lujo, y alimentos de primera necesidad no elaborados como el trigo y el maíz. Las exportaciones en cambio se concentraban principalmente en materias primas (fundamentales para la industria) y de alimentos. No sólo México, en general los países latinoamericanos se convirtieron en proveedores de materias primas y subsistencias. Herrera Canales I., "La circulación (comercio y transporte en México entre los años 1880 y 1890)", *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso Coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1981, pp. 452-455.

hidroeléctrico que pudiera dar energía a las plantas textiles en época de sequías y luz eléctrica a la ciudad misma.⁴⁷ Esta situación, generalizada para la mayor parte de las industrias, ocasionó un desplazamiento de los ingenieros industriales y electricistas mexicanos al grado que pocos fueron estudiantes que decidieron estudiar esta carrera (como bien se observa en la gráfica E.14 del apéndice E).

c) Ferrocarriles

Hasta 1880, los medios de transporte y de comunicaciones no cambiaron mucho de los que se usaron durante la colonia, a pesar de los intentos que se realizaron por mejorar los caminos ya que de éstos dependía el volumen y tipo de tráfico comercial. El transporte terrestre se realizó principalmente a través de la fuerza animal hasta 1873, año en que se inauguró la primera línea ferroviaria del país, la cual iba de México a Veracruz, introduciendo de esta manera al vapor como fuerza motriz.⁴⁸ A partir de la década de los ochentas se inició la ampliación hacia la frontera con Estados Unidos y hacia los puertos y zonas industriales más importantes del país. Respecto al transporte marítimo, al menos el que estaba relacionado con el comercio exterior, estuvo casi en su totalidad a cargo de navíos extranjeros. Las relaciones con el exterior eran muy importantes y se reflejó tanto en la construcción de los ferrocarriles, cuyas líneas conectaban a los puertos del comercio exterior a nivel interno, debido a los altos costos, se conservaron las formas tradicionales de carga y de transporte, con un uso reducido del ferrocarril.⁴⁹

La política económica estaba dirigida a favorecer los sectores productivos de exportación, a los grandes productores nacionales y a los nuevos mercados urbanos. Durante el porfiriato se contó con un intervalo considerable de estabilidad que condujo a

⁴⁷ Por mencionar cantidades, en 1895 México gastó 4 063 009 pesos en la importación de máquinas y en 1906 realizó una inversión mayor de 24 401 733. Ver Keremitsis, D., "Desarrollo de las plantas de energía y de la producción durante el Porfiriato", en *Historia económica de México*, Enrique Cárdenas Compilador, México, Fondo de Cultura Económica, 1992, pp. 164-165.

⁴⁸ La construcción de esta gran línea duró 36 años. Ver Herrera Canales, "La circulación: transporte y comercio", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso Coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1981, pp. 193-225.

⁴⁹ *Ibid.*, p. 209.

que los extranjeros invirtieran sin riesgos. Se promovió una transformación de los medios de transporte y comunicación, además de implantar algunas medidas administrativas y financieras.⁵⁰ Dentro de esta política, los ferrocarriles constituyeron el fundamento de la modernización de México, unieron la economía nacional, llevaron las mercancías y maquinaria a todas partes del país y lograron que las exportaciones voluminosas se hicieran viables.⁵¹ A pesar de que a México le convenía la construcción de una red ferroviaria nacional no poseía los recursos económicos suficientes como para invertir en ella, por lo que aceptó que se construyeran con capitales extranjeros, aunque a partir de 1880 se otorgaron concesiones sin orden y sin medida.⁵² La participación del gobierno se concretó a invertir en el mantenimiento y en la reparación de las vías ferroviarias.⁵³

Una expansión considerable del sistema ferroviario mexicano tuvo lugar durante el régimen porfirista; de 1074km de vías iniciales se aumentó hasta 19,280km en 1910. Básicamente esto se realizó con capitales extranjeros y mínimas contribuciones de empresarios nacionales, así como por el apoyo de los gobiernos federal y estatal a través de subvenciones y franquicias.⁵⁴ También se construyeron obras portuarias que estuvieron a cargo de algunas compañías constructoras de ferrocarriles que tenían sus terminales en algunos puertos nacionales, del gobierno federal y de algunas compañías extranjeras.⁵⁵ La creación y desarrollo de esta infraestructura hacía viables y atractivos los estudios de la carrera de ingeniero civil puesto que sus egresados podían trabajar en obras públicas, construcciones civiles, puentes, canales, puertos y caminos, ferrocarriles, etcétera.⁵⁶ Esto se

⁵⁰ Como se mencionó anteriormente, se construyó una red ferroviaria nacional, se mejoraron las infraestructuras de los puertos, se ampliaron las redes telegráficas y telefónicas, etcétera. *Herrerías Canales, L., op. cit., pp. 437-464.*

⁵¹ *Bernstein, M. D., op. cit., p. 238.*

⁵² *Macedo, P., op. cit., p. 238.*

⁵³ *Ibid., p. 438.*

⁵⁴ Esto permite explicar por qué el presupuesto de las prácticas de los estudiantes de la carrera de ingeniero de caminos puertos y canales tenía un apoyo económico que llegó a ser doce veces mayor que las de los topógrafos e incluso hasta cuarenta veces más que para las prácticas de mecánica aplicada. En 1893 el presupuesto mensual para la práctica general del ingeniero de caminos, puertos y canales fue de 40,000 mientras que para la de topografía fue de 3162, para la de mecánica aplicada de 940 y la de geología de 2688. Ver cuadro 4.3 (capítulo anterior). *Ibid., p. 439.*

⁵⁵ *Ibid., p. 446.*

⁵⁶ Vaughan opina que los estudiantes se inscribían a la carrera de ingeniería civil porque su trabajo no estaba vinculado ni con la industria ni con la minería, sino más bien con la administración del gobierno y con proyectos de carácter público. Ver *Vaughan, M. K., The State, education, and social class in Mexico, 1880-1928.* Northern Illinois University Press, Dekalb, 1982, p. 72.

Un mayor impulso recibió la ingeniería civil al crearse la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas. Ver *Bracamontes, L. E., "Ingeniería civil y obras públicas en México", en Anales de la Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, No. 3, México, 1972, pp. 165-180.*

refleja en un aumento en los alumnos titulados, especialmente a partir de la última década del siglo XIX (ver diagramas E.8 y E.9). Aunque, como veremos en seguida, no se ofrecieron fuentes de trabajo para ingenieros mecánicos e industriales, provocando un total desinterés en los jóvenes para estudiar dichas carreras (como se observa en las gráficas E.6 y E.7).

El ferrocarril ha sido una empresa que requiere personal competente para su operación. La ingeniería civil está estrechamente relacionada con los problemas de construcción y mantenimiento de la red férrea mientras que la ingeniería mecánica se encarga de la construcción, mantenimiento y reparación del equipo rodante.⁵⁷ El primer taller en el mundo que se dedicó a construir las primeras máquinas lo fundó George Stephenson en 1823 en Newcastle. En distintos talleres se diseñaban y producían todas las partes de una locomotora. Más tarde con la necesidad de una producción industrial se creó un sólo espacio físico para la producción y reparación de locomotoras en serie. En México las grandes empresas ferrocarrileras extranjeras crearon enormes talleres únicamente para reparaciones, la construcción de locomotoras no formaba parte de su política. Así que los ingenieros mecánicos mexicanos no tenían manera de ejercer como profesionistas en esta actividad ya que no sólo las refacciones, los puentes de hierro y los rieles se importaban, sino también el personal de supervisión, ingeniería y mano de obra especializada, quienes mantenían en secreto las particularidades de las locomotoras. Los cargos más altos, como los de mecánico de primera, maestro mecánico mayordomo de piso, mayordomo de casa de máquinas, incluso de conductores y maquinistas estaban en manos de extranjeros, dejando los puestos más bajos a los mexicanos, hecho que causó en varias ocasiones el enfrentamiento entre extranjeros y obreros mexicanos, ya que estos últimos no sólo no podían aspirar a un ascenso decoroso sino que su creatividad se vio reprimida.⁵⁸

⁵⁷ Guajardo, G., *op. cit.*, p. 118.

⁵⁸ Mediante un estudio de caso del ferrocarril de Guanajuato, Yañez muestra como después del movimiento de la Revolución Mexicana los trabajadores ferrocarrileros mexicanos lograron sustituir al personal extranjero con inmensa creatividad laboral, al grado tanto de realizar varios inventos que optimizaron el funcionamiento de las locomotoras, como de la construcción misma de éstas; aunque lamentablemente la construcción de locomotoras de vapor en México coincidió con la producción en serie de locomotoras diesel en el mundo con mayor fuerza tractiva que las de vapor, con lo cual se eliminó toda posibilidad de independencia tecnológica ferroviaria. Ver Yañez, E., "Creatividad laboral en los

Como los ingenieros no tuvieron oportunidad de participar en esta empresa se hizo necesario brindar capacitación técnica a los obreros, motivo por el cual en 1890 se comisionó al ingeniero y catedrático de construcción y establecimiento de máquinas de la Escuela de Ingenieros, Daniel Palacios, para elaborar el proyecto de una Escuela Práctica de Maquinistas que formara parte de la misma Escuela de Ingenieros. Palacios propuso la creación de dos carreras: la de maquinista especialista, conductor de locomotivas; y la de maquinista en general. La primera se encargaría de formar especialistas en motores de vapor y locomotivas en general, mientras que el plan de estudios de la segunda era casi el mismo que el de una ingeniería, ya que los egresados debían ser capaces de construir, montar, instalar y mantener las máquinas (ver apéndice C).⁵⁹ Varias objeciones surgieron en contra de la segunda carrera, argumentando que en todo caso se perfeccionara la carrera de ingeniero industrial dado que era muy parecida y que además que no tendría demanda.⁶⁰ El Ministerio de Fomento decidió establecer solo la primera carrera, cuya fundación tuvo lugar el 18 de diciembre de 1890 por decreto del presidente Porfirio Díaz.⁶¹ Aún la creación de esta carrera generó protestas entre las compañías ferrocarrileras porque los puestos de maquinistas correspondían a los extranjeros.⁶²

El ejemplo de los ferrocarriles permite visualizar con claridad los problemas que tuvieron los ingenieros mexicanos para desempeñarse como profesionistas ante la llegada de los ingenieros extranjeros. Esta situación obligó a muchos ingenieros mexicanos a ocupar cargos burocráticos que ayudaban al gobierno a administrar las empresas extranjeras,⁶³ aunque algunos de ellos no estaban en total acuerdo con la reducción de las barreras de importación.⁶⁴ De hecho, en las primeras décadas del siglo XIX ya habían defensores de la industrialización del país como Lucas Alamán y Esteban de Antuñano, este último insistía en fabricar máquinas y herramientas en México para adquirir una

Ferrocarriles Nacionales de México y la construcción de locomotoras", *Quipu*, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología, vol. 6, núm. 3, México, 1989, pp. 303-330.

⁵⁹ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 33, fo. 251.

⁶⁰ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, cursos, caja 20, exp. 16, fo. 509-516.

⁶¹ CESU, ENI, Correspondencia, caja 3, exp. 33, fo. 257.

⁶² Guajardo, G., *op. cit.*, p. 159.

⁶³ En los ferrocarriles los ingenieros Luis Salazar y Estanislao Velasco manejaban información como el crecimiento de líneas férreas por año, números de pasajeros, toneladas transportadas, costos, obras en los puertos, etcétera. Ver Macedo, P., *op. cit.*, pp. 228-258.

⁶⁴ Cosío Villegas, *La cuestión arancelaria en México*, México, A. Mijares y Hermano, 1989, pp. 18-20.

independencia industrial o, de lo contrario, jamás se dejaría de ser una colonia dependiente de la industria extranjera.⁶⁵

En el momento en que los recursos extranjeros jugaron un papel central en el desarrollo de nuestro país, se inició un proceso de dependencia externa donde el capital extranjero se convirtió en una variable importante en el funcionamiento del sistema político nacional.⁶⁶ Este hecho, produjo que México participara en el mercado mundial con una gran dependencia tecnológica y científica. En nuestro país no se produjo la alianza entre la ciencia, la tecnología y la industria⁶⁷ que los países centrales aprovecharon y explotaron para desarrollar la actividad científica, tanto teórica como aplicada. Esto permite explicar por qué las carreras de ingeniero mecánico, ingeniero electricista e ingeniero industrial no prosperaron en México: simplemente no tuvieron campo de trabajo, ni sus practicantes podían intervenir en el proceso de elaboración de las máquinas porque éstas se importaban (mucho menos de la ciencia), ni podían supervisar el funcionamiento de las ya instaladas, porque generalmente eran industrias extranjeras que preferían traer a sus propios técnicos e ingenieros.⁶⁸ Esto mismo impidió que la física, entre otras disciplinas científicas, se desarrollara en México, simplemente porque no existía esa complicada estructura que ya se había conformado en los países centrales, donde las aportaciones de la física fueron muy importantes para el avance de la tecnología a finales del siglo XIX.

Cabe mencionar que en 1833 Eduardo Enrique Teodoro Turreau de Linières propuso en México un proyecto que consideraba la alianza entre ciencia, técnica e industria, la creación de una Compañía Mexicana Científico-Industrial acompañada de la fundación de un colegio regional perpetuo de ciencias, artes, oficios, botánica, arquitectura, agricultura e idiomas; el establecimiento de fábricas y hospicios; el fomento del comercio, etc. El colegio ofrecería estudios por ocho años y se enseñarían materias como matemáticas,

⁶⁵ Flores Caballero, R., *op. cit.*, pp. 110-112.

⁶⁶ Coatsworth, J. H., 1990, *op. cit.*, p. 229.

⁶⁷ Beltraming, M., *Alianza entre ciencia, tecnología e industria*, Anuies, México, 1977.

⁶⁸ Pero si aún así se deseaba conservar esta carrera se tenía que adecuar a las necesidades y circunstancias del país, ¿pero cómo se iba a lograr esto si los libros de texto que se usaban para impartir las materias provenían del extranjero? Generalmente eran libros que se usaban para enseñar en universidades y escuelas del extranjero y que se habían elaborado dentro de un sistema educativo y productivo capitalista que respondía a las necesidades de sus propios países.

física y química, entre otras.⁶⁹ Así es que la idea de fomentar la ciencia para fines industriales y comerciales se introdujo muy temprano en México, aunque no llegó a cristalizar.

Durante el siglo XIX la "Tierra entera quedó sujeta a la esfera de influencia capitalista, produciendo que los países periféricos se convirtieran en mercados para la venta de productos industriales y en proveedores de materias primas y de víveres".⁷⁰ El que México se convirtiera en exportador de materias primas lo llevó a crear condiciones propicias para el desarrollo de ciertas disciplinas científicas, como la medicina, la botánica y la geología; es decir, aquellas que estaban relacionadas con los recursos naturales del país.⁷¹ Por eso no es de extrañar que en el siglo XIX se creara el Observatorio Astronómico Nacional, para realizar estudios topográficos, geográficos y geodésicos; el Instituto Geológico Nacional que se creó con el objetivo de dirigir y practicar el estudio geológico del territorio nacional desde el punto de vista científico, técnico e industrial; y el Instituto Médico Nacional, que se creó como un instituto de investigación que estudiaría las aplicaciones de las plantas en la industria de la farmacia. Esto mismo favoreció la fundación de sociedades y publicaciones científicas de ciencias naturales, como la de la Sociedad de Historia Natural y la Sociedad Alzate, entre otras.⁷²

5.2. Contradicciones generadas por una concepción ambigua de progreso

La estructura de capitalismo dependiente que adquirió nuestro país propició serias contradicciones de todo tipo y en todos los ámbitos donde intervenía la ciencia

⁶⁹ AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 8, fs. 76-91 y 74.

⁷⁰ Gortari, E., *La ciencia en la historia de México*, Editorial Grijalbo, S. A., México, 1980, p. 275.

⁷¹ Trabulse opina que los avances espectaculares que lograron la medicina, la botánica y la geología se debieron a que fueron campos explorados con criterios nacionalistas enfocados al estudio de las realidades específicas del país. Ver Trabulse, E., 1983, *op. cit.*, p. 173.

⁷² Azuela ha constatado como la participación de la comunidad científica en el exterior a través de congresos, exposiciones, ferias, publicaciones, etcétera, les facilitó la incorporación a la dinámica de la actividad científica internacional. Algunos científicos mexicanos fueron distinguidos con premios y reconocimientos a nivel internacional, especialmente en los ámbitos de la biología, la geología y la medicina. La práctica científica no abarcó todo el espectro disciplinario que se llevaba a cabo en Europa, debido a que el vínculo que se tenía con el régimen limitó y condicionó el desarrollo de las investigaciones a aquellos aspectos relacionados con la expansión del progreso material del país. Azuela, L. F., *op. cit.*, pp. 195-208.

(especialmente la física), que podrían ser de carácter industrial, educativo e incluso ideológico. Referiré en adelante es el educativo, particularizando a la enseñanza de la física en la Escuela Nacional de Ingenieros.

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, los catedráticos de la Escuela hicieron varias propuestas para mejorar el nivel de enseñanza y resolver el problema de la escasa demanda que tenían algunas carreras. La mayor parte de ellos coincidía en que era un problema importante, que provenía de los estudios preparatorios, del contenido de los programas de las materias o del plan de estudios mismo e insistían en que la enseñanza debería ser más práctica que teórica. Inclusive Francisco Garibay, catedrático de aplicaciones de la electricidad, explicaba el fracaso de la carrera de ingeniero industrial argumentando que llevaban cursos muy complicados y difíciles de entender, como los de mecánica y química.

Después del análisis que se acaba de hacer cabe preguntarse ¿cómo concebía el catedrático desde la Escuela a una profesión?, y ¿cómo se concebía a un ingeniero en la acción social?. Aparentemente no todos tenían una concepción social clara del ingeniero, más bien se veía la profesión como un conjunto de materias que integraban un plan de estudios. Esto significa que tal concepción generalmente se concretaba al ámbito educativo, el cual para ellos, estaba estrechamente relacionado con el progreso del país, aunque el concepto de progreso no parecía tener el mismo significado para todos, de la misma manera que el significado de ingeniero no siempre coincidía con el que se usaba en otros países. A continuación se mencionan algunos ejemplos.

El profesor Luis Salazar, preocupado por la escasez de estudiantes que acudieron a inscribirse en la carrera de ingeniero geógrafo, propuso unir la carrera de topógrafo a la de geógrafo porque, decía, "los progresos del país exigen favorecer la creación de un cuerpo de Ingenieros de esa especialidad".⁷³

⁷³ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 42, fo. 357.

Miguel Bustamante, catedrático de mecánica aplicada opinaba que para contribuir al progreso del país era necesario realizar una reforma en los estudios preparatorios, debido a que en la educación se localizaban las conquistas científicas y tecnológicas. Decía:

El éxito que en todos los ramos del saber y la industria humanos, han alcanzado los Norte Americanos, se debe indudablemente a sus métodos de enseñanza, y por nuestras condiciones especiales tiempo es ya de que los imitemos.⁷⁴

Proponía que dado que en la Escuela anglosajona predominaba la práctica sobre la teoría, entonces en la Escuela de Ingenieros también se debería dar preferencia a los cursos prácticos y no abordar "las elucubraciones más complejas de la ciencia en detrimento para el estudiante de la adquisición de los principios elementales que sirven para resolver los casos comunes que se presentan ordinariamente en la práctica de la profesión".⁷⁵ Los Estados Unidos a mediados del siglo XIX promovieron una campaña de educación técnica que propició un rápido crecimiento de las instituciones dedicadas total o parcialmente a la enseñanza de las ciencias. Antes de 1850, a excepción de la Academia Militar de West Point casi ninguna institución de enseñanza superior impartía instrucción científica. Después de dicha campaña se empezaron a crear escuelas de agricultura y de minería (como la de Colorado en 1874 y la de Michigan en 1885), entre otras, al grado de que para 1880 alrededor de cuatrocientos cincuenta colegios y escuelas impartían cursos de química, física, metalurgia, minería e ingeniería mecánica y eléctrica. Lo que no mencionó Bustamante, fue que la educación técnica empezó a ser insuficiente conforme los procesos industriales se volvieron más y más complejos, por lo que se crearon laboratorios en las universidades, en las escuelas de ingeniería y mecánica, en las dependencias científicas del Gobierno nacional y en las grandes compañías manufactureras y de maquinaria. Los beneficios que se obtenían de la mecanización eran considerados como el producto del progreso de las ciencias aplicadas, lo cual condujo a la idea de que

En el nuevo siglo, el conocimiento que el hombre tenía de las fuerzas de la naturaleza iba a extenderse todavía más que antes; iba a desafiar las fuerzas cósmicas cuya existencia misma había sido desconocida en todas las épocas anteriores de la historia. En una asombrosa variedad de modos, la

⁷⁴ *Ibid.*, fo. 331 y 332.

⁷⁵ *Ibid.*, fo. 330.

ciencia industrial norteamericana iba a poner a los Estados Unidos en aptitud de superar, por su producción, a cualquier nación que jamás haya existido.⁷⁶

Fernando Layago, catedrático de química industrial, tenía una visión diferente, sostenía que la nación estaba en crisis porque la industria estaba abandonada. Propuso en 1892 que su cátedra fuera obligatoria para la mayor parte de los alumnos porque era una clase que podía crear en el ingeniero una posición independiente y eficiente capaz de hacer de México un país rico como lo era Francia. Opinaba lo siguiente:

México país excepcional no por su abundancia de metales que es proverbial, sino por la facilidad de producir todas las materias primas del globo, con el desarrollo de la industria podría subvenir a todas sus necesidades y en consecuencia convertirse en proveedor de metales de todas clases y de provechos tropicales y consumidor únicamente de objetos de lujo.⁷⁷

La concepción que de ingeniero tenían algunos profesores, era la de un individuo que aplicaba los conocimientos de las ciencias puras para obtener de esto algún provecho. Adolfo Díaz Rugama insistía en 1901 que:

Un ingeniero no debe ser un sabio matemático, ni físico ni químico, ni mecánico, y solamente debe pedir á las ciencias puras, las bases indispensables para las aplicaciones que ha de realizar en su ejercicio profesional. Las universidades son las destinadas para hacer sabios especialistas, las escuelas profesionales deben formar hombres prácticos, é instruidos solamente en los elementos indispensables para su arte de aplicación (...) el sabio hace adelantar la ciencia, el práctico se conforma con aplicar sus principios vulgares (...) un ingeniero está destinado a realizar materialmente en la vida las obras que proyecta y no a idearlas y calcularlas en el gabinete, y es por consecuencia de capital importancia desarrollar el espíritu práctico del estudiante, desde los primeros pasos que dé en la Escuela de Minería (...) un buen profesor de la escuela es precisamente que no sea especialista y que haya practicado bastante para transmitir conocimientos útiles y de aplicación inmediata (...).⁷⁸

Agrega que si se quisieran formar sabios se deberían mandar a Europa, ya que la demanda social no reclama en México estas especialidades.⁷⁹ Esta es una concepción del Ingeniero que dista de la que se tenía en los países centrales donde éste desarrollaba la ciencia que se iba a aplicar en el ámbito industrial. La dinámica que se alcanzó en aquellos países exigió la creación de laboratorios de investigación tanto en la industria como en las

⁷⁶ Hall, C. R., *Historia de la Ciencia Industrial de los EE.UU. de América*, Editorial Letras, S. A., México, D. F., 1960, p. 71. Ver además, Paul, H. W., *From Knowledge to power*, Cambridge University Press, 1985; Dupree, H., *Science in the Federal Government*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore y Londres, 1988.

⁷⁷ CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 105-398.

⁷⁸ CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 8, exp. 15, fo. 475-478.

⁷⁹ CESU, ENI, Asuntos escolares, Sociedades y asociaciones, caja 33, exp. 2, fo. 10-184.

universidades e institutos, como vemos en el caso de Francia, Alemania y Estados Unidos.

Es probable que esta idea del progreso que externaban los profesores de la Escuela haya tenido lugar por la ideología positivista que se vivió durante el porfiriato, régimen que no dio a la ciencia un valor cognoscitivo verdadero, ni tampoco económico o social, sino más bien ideológico y educativo.⁸⁰ Razón por la cual se generarían diversas contradicciones tanto en el ámbito industrial como en el educativo. Una de las contradicciones que se generó en la Escuela de Ingenieros, tuvo lugar con las frecuentes propuestas de reducción del contenido de los cursos básicos, medida contraria a la que establecía no sólo la filosofía positivista sino también la política científica que imperaba en Europa. Quizás esta incompatibilidad fue producto de la introducción de concepciones extranjeras a un medio que no cumplía con las mismas características que el original.

En 1897, Adolfo Díaz Rugama afirmó que el éxito o fracaso de una carrera residía en la demanda social que ésta tuviera; por ejemplo, la carrera de ingeniero de minas tenía éxito porque México contaba con una gran riqueza mineral. En un caso similar se encontraba la carrera de ingeniero civil porque se dedicaba a realizar obras materiales, tanto públicas como privadas. En cambio, las carreras de ingeniero mecánico, ingeniero industrial e ingeniero electricista fracasaron porque se crearon sin que existiera una demanda social real. Así, sostenía, la carrera de ingeniero industrial fracasó porque estaba estrechamente vinculada con las transformaciones de la materia prima, proceso que no se llevaba a cabo en México. Además, propuso que se eliminara la carrera de ingeniero geógrafo, que también se había creado sin haber una demanda social, proponiendo en su lugar se creara mejor la carrera de ingeniero militar y la de cartografía, hidrografía, estadística y geografía, que eran indispensables para los servicios oficiales y podían llevar a cabo actividades que, en su opinión, los ingenieros geógrafos no podían realizar: como el tener a su cargo la defensa del

⁸⁰ Saldaña, J. J., "La ideología de la ciencia en México en el siglo XIX", en *La Ciencia Moderna y el Nuevo Mundo*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Sociedad Latinoamericana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología. Ed. José Luis Peset, 1985, Madrid, pp. 299-326.

territorio, su estudio estratégico, encargarse del catastro, de la hidrografía de las costas, de los observatorios y de los estudios físico-químicos y biológicos del país.⁸¹

Haber ha caracterizado la industria mexicana del siglo XIX, por "su incapacidad para exportar, su inermidad frente a la competencia extranjera" y su casi absoluta dependencia de la tecnología importada.⁸² Considera que la dependencia tecnológica fue debida a que en nuestro país no se había desarrollado una industria propia de ingeniería, herramientas o bienes de capital. Pone como ejemplo, el que los ferrocarriles mexicanos se diseñaron y construyeron por técnicos extranjeros y con tecnología extranjera, "debido a que en México no se contaba con los indispensables conocimientos en ingeniería".⁸³ Opinión que dista totalmente de la que tenían los catedráticos de la Escuela de Ingenieros, quienes se consideraban con un nivel académico teórico similar al de Europa y que decían que lo que hacía falta era invertir en una industria propia. Obviamente sería interesante profundizar en esta contradicción y encontrar la causa de tal situación. Indudablemente esto nos permitiría entender la compleja dinámica que México adquirió durante el siglo XIX.

Baldwin destaca que fue aproximadamente a partir de 1850 cuando la educación en Occidente se incorporó como factor decisivo en el crecimiento industrial y en la transformación tecnológica.⁸⁴ En cambio en México su estructura económica dependiente en el siglo XIX, impidió que en este país se diera una transformación tecnológica que impulsara el crecimiento industrial y económico y repercutiera al mismo tiempo de una manera favorable en la educación, la cual no podía participar como factor esencial porque no se contaba con una estructura económica adecuada. De aquí que fuera imposible que las profesiones que estuvieron relacionadas con el sector industrial llegaran a tener éxito. Por la misma razón no tuvo lugar un desarrollo en las ciencias básicas que daban apoyo al sector

⁸¹ Revista de la Instrucción Pública Mexicana, Tomo II, núm. 13, 1897, fo. 98-115.

⁸² Haber, S. H., *Industria y Subdesarrollo*, Alianza Editorial, 1992, p. 18.

⁸³ *Ibid.*, p. 47.

⁸⁴ Baldwin, G. B., "Reflexiones sobre la educación, la tecnología industrial y el progreso económico", en *La educación en el mundo de la industria*, Angel Estrada y Cia. S. A., Buenos Aires, 1971, pp. 65-86.

De hecho, François Caron, mediante un estudio que realizó sobre la historia económica de Francia durante el siglo XIX y XX, ha mostrado como el Estado incrementó constantemente durante el siglo XIX el gasto para la instrucción pública, de un 1.2% que tenía en 1840 aumentó al 3.5% en 1882 y al 6% en 1913. Ver Caron, F., *Histoire Economique de la France XIXe-XXe Siecles*, Armand Éditeur, Paris, 1981, p. 43.

industrial, entre las cuales se encontró la física. Un ejemplo muy concreto que muestra la marginación que llegaron a tener las carreras de ingeniería relacionadas con el sector industrial, tuvo lugar cuando se decidió introducir el alumbrado eléctrico en la Escuela de Ingenieros. Se le proporcionaron al extranjero Nathan Crowell los planos del edificio para que elaborara el proyecto y estimara el costo de la instalación. Ni en su misma casa de estudios se le consultó al ingeniero electricista mexicano, por lo que no podía esperar que lo emplearan otras empresas.⁸⁵

Para finalizar el capítulo se hará referencia a la opinión de Landes, quien asegura que todo proceso de modernización debe ir acompañado de una madurez tecnológica y de la industrialización; cuando esto no sucede "nos quedamos con lo accesorio sin la sustancia", "la ilusión sin la realidad".⁸⁶ Insiste en que mientras la mecanización condujo a algunos hombres a abrir nuevas perspectivas de confort y prosperidad, a otros les destruyó la vida, "vegetando en los márgenes de la corriente del progreso".⁸⁷ Sugiere que los países del Tercer Mundo deben llevar a cabo su propia revolución industrial y traten de disminuir las diferencias que tienen con los países del Primer Mundo en materia de riqueza y de nivel de vida, que se ha producido por el carácter parcial que de modernización tienen los primeros.⁸⁸

Para finalizar, podemos inferir de este capítulo que al no cumplir México con los requisitos indispensables para llevar a cabo el proceso de modernización algunos profesionistas vieron frustrados todos sus intentos por desarrollarse, en particular aquellos cuya actividad se sustentaba en sólidos conocimientos de física. Los comentarios que externaban reflejaban el deseo que tenían de compartir una prosperidad similar a la que prevalecía en los países centrales. Sin embargo, su innecesaria intervención en la industria - como lo han señalado Saldaña y Medina- producto del modelo de desarrollo económico

⁸⁵ CESU, ENI, Administrativo, Solicitudes Externas, caja 16, exp. 18, fo. 101-107.

⁸⁶ Landes entiende por modernización cambios en la urbanización, la reducción drástica de los índices de natalidad y defunción; el establecimiento de un gobierno burocrático, eficaz y bastante centralizado; la creación de un sistema educativo capaz de preparar y socializar a la juventud hasta niveles compatibles con sus capacidades y los conocimientos contemporáneos; la adquisición de la capacidad y de los medios necesarios para poder utilizar la tecnología del momento. Ver Landes, D., *op. cit.*, p. 21.

⁸⁷ *Ibidem.*

⁸⁸ *Ibid.*, p. 26.

centrado en el exterior, los condujo a la "teoría sin práctica" y marcó, además, la pauta para el desarrollo de la ciencia en el siglo XX.⁸⁹

⁸⁹ Saldaña, J. J., Medina Peña, L., "La Ciencia en México (1983-1988)", en *Comercio Exterior*, vol. 38, núm. 12, México, diciembre de 1988, pp. 1111-1121.

CONCLUSIONES

La conclusión preliminar y general a la que se ha llegado a través de esta investigación, es que el desarrollo de la física en México durante el siglo XIX en el Colegio de Minería y la Escuela Nacional de Ingenieros se vio rezagado respecto a los países industrializados por las inadecuadas condiciones sociales, políticas y económicas que tuvo el país durante este periodo. Del periodo que abarca de 1821 a 1867 las desgastantes guerras internas y las invasiones extranjeras ocasionaron múltiples crisis políticas que impidieron que en el país tuviera lugar un crecimiento o equilibrio económico. Al término de la guerra de Reforma el Estado se enfrentó a un caos social, una grave desorganización administrativa, un gran endeudamiento y un enorme interés por modernizar al país, razón por la cual se transformó el Colegio de Minería en Escuela de Ingenieros y se crearon nuevas profesiones que ayudaron a lograr este fin, como el ingeniero mecánico y el ingeniero civil. Este proyecto requería de una inversión que México no poseía, por lo que se tuvo que recurrir a la inversión extranjera, aunque no en las mismas dimensiones que lo haría Porfirio Díaz durante su gobierno. La política de Díaz se sustentó en la apertura a la inversión extranjera y en las exportaciones de materias primas. Esto ocasionó una proliferación tanto de maquinaria como de profesionistas y técnicos que provenían del exterior. Los extranjeros establecieron las jerarquías en el ámbito laboral, los puestos más altos se otorgaban a trabajadores de sus propios países, los secretos del funcionamiento de las máquinas sólo los conocían ellos y su política fue no construir máquinas en México, sino sólo repararlas. Los mexicanos fueron desplazados y menospreciados desde el nivel profesional hasta el obrero. Esta situación produjo que los profesionistas que no encontraron trabajo en el sector industrial terminaran ocupando puestos de burócratas en el Estado, y que las carreras relacionadas con la industria, como la del ingeniero industrial y la del ingeniero electricista no tuvieran demanda estudiantil, razón por la cual se titularon muy pocos alumnos en estas profesiones. Casualmente eran las profesiones que poseían un mayor número de cursos en sus planes de estudios, por lo cual se pensó que sus egresados no encontraban trabajo porque su formación era demasiado teórica y no práctica como la necesitaba la nación. Así fue como a finales del siglo XIX se inició toda una reforma en los

cursos de la Escuela de Ingenieros buscando hacerlos más prácticos. Por otra parte, las carreras que poseían un mayor número de alumnos titulados eran precisamente las que no poseían cursos de física (como la de ensayador e ingeniero topógrafo) hecho que confirmaba la teoría anterior. Sin embargo, carreras como ingeniero de minas e ingeniero civil poseían casi los mismos cursos de física que las primeras y sí tenían un número considerable de titulados. Aparentemente el problema no estaba en los cursos, más bien era en la demanda social, pues los estudiantes escogían carreras que les asegurarían un trabajo en el futuro, fuera bien o mal pagado. Las carreras que tenían demanda de estudiantes eran aquellas que estaban relacionadas con la minería y con la realización de obras de infraestructura (carreteras, ferrocarriles, obras en los puertos, levantamiento de planos, y comunicaciones, entre otras). En particular los ingenieros civiles destacaron en la construcción de obras públicas y privadas.

Casi todos los ingenieros mexicanos se enfrentaron a la competencia con los extranjeros en mayor o menor grado. Aquellos que decidieron y pudieron incorporarse al aparato gubernamental como burócratas le ayudaron al Estado a organizar y estudiar al país, además de que pudieron gestionar apoyo para impulsar el desarrollo de la ciencia ya que el Estado era el único medio con las posibilidades de hacerlo, aunque las áreas científicas que se promovieron tenían que ser cercanas a sus intereses; de aquí que las instituciones científicas que se crearon estuvieran vinculadas con el estudio y reconocimiento del país, explotación de los recursos naturales y asuntos de salud pública.

La física, que en los países centrales estuvo íntimamente relacionada con la tecnología y con la industria, en México no pareció tener importancia como para impulsar su desarrollo aplicado, quizás por la dependencia que mantuvo en la importación de productos manufacturados y bienes de capital; ni en su desarrollo teórico, porque se creía que México no necesitaba de "sabios" sino de técnicos o especialistas en sus aplicaciones. Esta contradicción, además de impedir cualquier desarrollo de la física, llevó al fracaso a aquellas carreras cuya formación se sustentaba en esta disciplina y que estaban relacionadas con el sector industrial.

El Colegio de Minería y la Escuela Nacional de Ingenieros en la conformación de una Nación

Desde su creación, el Colegio de Minería mantuvo una estrecha relación con los grupos en el poder, debido a que estos necesitaban gente capacitada que aplicara los conocimientos científicos en diversos campos de su interés. Este hecho, aunado a la influencia que el colegio, en materia de educación, recibió del extranjero, determinaron tanto la trayectoria que adquirió durante el siglo XIX -en su carácter de institución de enseñanza superior- como el desarrollo de la ciencia misma, aunque no en todas sus ramas. La física, en particular, no se desarrolló como en los países centrales, ni siquiera como lo hicieron en nuestro país disciplinas como la biología, la geología y la medicina.

En el siglo XVIII el Colegio de Minería destacó como el primer colegio en México que, con educación científica, formaba los recursos humanos que mejorarían los métodos de explotación de los minerales preciosos que constituían la principal fuente de riqueza de la Colonia. Durante el movimiento de independencia tuvo una participación activa, como se pudo ver en el hecho que unos estudiantes estuvieron a favor del movimiento de independencia, mientras que otros permanecieron en contra. Al término de este movimiento y al iniciar México su vida independiente, se necesitaba contar con gente capacitada que ayudara en la organización y administración del país. Fue así como el gobierno se allegó frecuentemente de los egresados de este colegio, por ser prácticamente los únicos que contaban con una formación científico-técnica. Más aún, para cubrir las necesidades nacionales se llegó a modificar en varias ocasiones su estructura interna, al grado de transformarlo como institución y pasar de un Colegio de Minería, que formaba técnicos facultativos especializados en minas, en una Escuela de carácter Nacional que se dedicaba a la formación de los Ingenieros en todas sus especialidades; esto es, en la Escuela Nacional de Ingenieros. Escuela que exigía a los alumnos que quisieran ingresar en ella un comprobante de haber cursado estudios de nivel preparatorio; estudios que no se requerían cuando el colegio inició por primera vez sus actividades.

La dependencia económica que el colegio adquirió con un Estado que cambiaba continuamente lo colocó en varias ocasiones en situaciones difíciles tanto de carácter

político como económico. Como era común que cada Presidente de la República decidiera quien iba a ocupar el cargo de Director, independientemente de la opinión de los profesores y de los alumnos, se produjeron en varias ocasiones protestas estudiantiles y renunciaciones por parte de los profesores. Esta situación y las fuertes crisis económicas que sufrió el país a lo largo del siglo XIX lo obligaron a suspender momentáneamente sus labores e incluso al cierre parcial de sus instalaciones. A pesar de estos conflictos, el colegio tenía que cumplir con las funciones que cada gobierno le asignaba, hecho que le permitió superar sus problemas para seguir creciendo y fortaleciéndose académicamente.

Incorporación de egresados del colegio en el aparato gubernamental, medio que algunos de ellos usaron para fomentar la ciencia

El estrecho contacto que tuvieron los ingenieros egresados del Colegio de Minería con el Estado permitió que se establecieran una serie de negociaciones mediante las cuales ambos salieron beneficiados. Por una parte, los ingenieros a través de comisiones, expediciones, direcciones generales y la creación de instituciones científicas contribuyeron en la organización del país con el reconocimiento y explotación de los recursos naturales y con la exploración y organización del territorio. Por otra, los ingenieros, al igual que otros profesionistas de áreas científicas, que llegaron a ocupar cargos públicos de importancia pudieron gestionar la creación de sociedades, publicaciones e instituciones científicas mediante las cuales estimularon y promovieron el desarrollo de la ciencia aunque no en todas las áreas. Por mencionar un ejemplo, la geología recibió un gran impulso gracias a Antonio del Castillo, egresado del Colegio de Minería donde impartió por muchos años la cátedra de mineralogía, geología y paleontología, participó en varias comisiones del Estado e incluso llegó a ser diputado. Del Castillo propuso en 1886 un proyecto para la creación del Instituto Geológico Nacional y lo fundó en 1891. Es necesario hacer notar que aunque algunos catedráticos de física llegaron a ocupar cargos destacados, como fue el mismo caso de Antonio del Castillo quien impartió la cátedra de mecánica racional e industrial, Manuel Ruiz de Tejada quien impartió la cátedra de física y llegó a ser diputado, el profesor de mecánica analítica y aplicada Eduardo Garay fungió un tiempo como senador, y Juan

Cecilio Barquera, catedrático de mecánica, llegó a ocupar el cargo de Subsecretario de Instrucción Pública y Cultos, no promovieron el desarrollo de la física como se hizo con la geología. Cabe destacar que la física en otros países llegó a tener avances sin precedentes, y se contó con la participación de ingenieros en contribuciones tanto teóricas como prácticas, al mismo tiempo que gestionaban la adquisición de presupuesto para impulsar aún más el desarrollo de esta ciencia.

La modernización del país y la creación de nuevas carreras y cursos

La influencia directa que tenía el Estado sobre el colegio condujo a que éste sufriera frecuentes modificaciones en los planes de estudios, los cuales iban desde la creación y cancelación tanto de cursos como de profesiones hasta la transformación del mismo como institución. En 1833 Valentín Gómez Farías, además de incorporar al plan de estudios nuevos cursos, transformó al colegio en el establecimiento de ciencias físicas y matemáticas. Después de ser derogado dicho plan, fue el presidente Antonio López de Santa Anna quien en 1843 le asignó al colegio el título de Instituto de Ciencias Naturales, al cual introdujo -por primera vez- profesiones que no sólo estaban vinculadas con la minería, sino que, además, estaban relacionadas con otros campos de trabajo; así se incluyeron las carreras de geógrafo y naturalista. Un nuevo intento de transformación tuvo lugar durante el segundo imperio, cuando Maximiliano de Habsburgo intentó transformarlo en Escuela Politécnica. Fue hasta 1867 -durante el régimen de Juárez- cuando se transformó en Escuela Especial de Ingenieros, y aunque se hizo bajo una concepción filosófica del positivismo de Comte que daba orden específico a la secuencia que tenían que llevar las cátedras, no afectó la estructura interna del colegio, puesto que en éste se impartían los cursos -desde su creación- en el mismo orden que postulaba la educación positivista. Un cambio radical tuvo lugar al crearse nuevas carreras de acuerdo con los intereses del régimen restaurador, como modernizar los medios de transportes y promover la introducción de las máquinas en el ámbito productivo, por ello se crearon las carreras de ingeniero civil e ingeniero mecánico, acompañadas de cursos que por primera vez se impartían en el colegio. Fue durante el régimen de Manuel González que las carreras adquirieron un fortalecimiento académico sin

precedentes, quizás por el impulso económico que recibió el colegio al cambiar su adscripción de la Secretaría de Instrucción Pública a la Secretaría de Fomento y al transformarse en Escuela Nacional de Ingenieros, título que conservaría hasta principios del siglo XX. Durante el mismo régimen se creó la carrera de telegrafista, más tarde conocida con el nombre de ingeniero electricista, con el interés de introducir al país la electricidad como fuente de energía. Durante el segundo periodo del régimen porfirista se continuaron incrementando los cursos, por ejemplo se introdujeron materias de electricidad a todas las carreras que se impartieron en 1889. De hecho, la creación de la carrera de ingeniero electricista coincidió con la introducción al país de la electricidad al ámbito industrial; como el uso del motor eléctrico en los sectores productivos, en particular en el minero, se utilizó tanto para extraer el mineral como para su beneficio, lo que propició un aumento en la producción de los minerales.

Es importante señalar que aunque en los países centrales las carreras de ingeniero electricista y de ingeniero mecánico también estuvieron relacionadas con su integración en el mecanismo de producción, las condiciones bajo las cuales se crearon en tales países fueron diferentes a las que tuvieron lugar en la Escuela de Ingenieros. Diferencia que las conduciría algunos años más tarde al fracaso. Mientras que en los primeros países se crearon por la necesidad de construir máquinas y herramientas de precisión, de aumentar la rapidez de comunicación y de introducir la electricidad en la industria, en la Escuela de Ingenieros se introdujeron con la idea de conocer el funcionamiento de las máquinas, de saber cómo adecuarlas en ciertos lugares e incluso de llegar a construir algunas de ellas. El problema que se enfrentó por esta situación fue que los países que vendían sus máquinas prefirieron traer al país sus propios técnicos para instalarlas o para repararlas, en lugar de contratar ingenieros mexicanos, disminuyendo de esta manera las posibilidades de participación en este campo.

A finales del siglo XIX, durante el porfiriato causó un gran descontento la poca demanda que presentaban las carreras de ingeniero electricista y la de ingeniero industrial, lo que provocó una revisión exhaustiva en los planes de estudio y una serie de propuestas destinadas a superar este problema. En la mayor parte de las propuestas no se analizaba la

situación como se mencionó en el apartado anterior sino que se insistía en la necesidad de eliminar algunos cursos de física y otros enfocarlos más hacia el estudio práctico que hacia el teórico. Cabe señalar que la física era una disciplina que se consideraba como la piedra angular en la formación del ingeniero; además, coincidía el hecho de que la mayor parte de las carreras que tenían gran demanda no llevaban cursos de física, y viceversa, las que llevaban un mayor número de cursos de física eran aquellas que tenían poca demanda. Es por esto que resulta plausible que algunos profesores dirigieran sus propuestas a modificar los cursos de física, aunque éstas condujeran a contradicciones. Por ejemplo, ¿por qué querer disminuir los cursos teóricos que en otros países no sólo eran indispensables en la formación del ingeniero para su práctica profesional, sino que eran necesarios para continuar investigando en el campo de la ciencia y realizar así contribuciones teóricas que posteriormente permitirían hacer innovaciones tecnológicas?

De hecho, durante el siglo XIX en los países industrializados el desarrollo de la física -en algunas áreas- tuvo lugar mediante un complicado mecanismo donde se conjugaron intereses políticos, económicos y científicos. La alianza que se estableció con la tecnología, la industria, el Estado y la educación, propició la creación de una sólida infraestructura que facilitó e impulsó su desarrollo: como la fundación de laboratorios de física, la incorporación de investigadores dedicados a su fomento y aplicaciones, la elaboración de material didáctico, la creación de revistas especializadas, etcétera. En México, nada de esto tuvo lugar, la física no jugó un papel similar, aunque los profesores de estas cátedras se consideraran al mismo nivel que los profesores del extranjero, al menos en los aspectos teóricos.

Impacto de la física en la formación de los ingenieros

Desde la fundación del colegio, el estudio de la física estuvo relacionado con asuntos de carácter práctico y su enseñanza tuvo lugar bajo cierta influencia francesa y, en menor medida, inglesa. Conforme transcurrió el siglo XIX aumentaron los países -como Alemania y Estados Unidos- que influyeron en su enseñanza en aspectos como: la adquisición de material didáctico, el contenido de sus programas, la creación de cursos y la

extensión en su campo de aplicación no sólo a la minería sino también a otros ámbitos de la producción.

El material didáctico -como libros, aparatos e instrumentos de laboratorio- se importaba de Inglaterra, Francia, Alemania y Estados Unidos. De hecho, los libros de texto que se usaron para impartir las cátedras de física fueron extranjeros. A pesar de la insistencia del Estado y de otras autoridades porque los profesores mexicanos redactaran sus propios libros de texto, esto no llegó a suceder en las cátedras de física. El único libro que se escribió fue el de Francisco Antonio Bataller en el siglo XVIII y no se llegó a imprimir, pues lo sorprendió la muerte. A diferencia de los catedráticos de física, hubieron profesores de otras materias, como astronomía, matemáticas y topografía, entre otras, que escribieron y publicaron sus propios libros de texto. Cabe destacar el caso del profesor de la cátedra de geodesia y astronomía práctica, Francisco Díaz Covarrubias, que escribió los libros *Análisis Trascendente y Geodesia y Astronomía*, los cuales se continuaron usando como libros de texto aún después de su muerte. Vale la pena insistir en esta excepción, porque comúnmente los profesores de nuevo ingreso o aquellos a los que se les cambiaba su cátedra por otra, decidían cambiar el libro de texto que usaba el catedrático anterior.

El contenido de los programas de los cursos estuvieron en función de los libros de texto que se usaron para impartirlos. Por ejemplo, el nivel de enseñanza que tenía el curso de física que impartió Francisco Antonio Bataller a finales del siglo XVIII con sus notas, no distaba del que enseñó Manuel Ruiz de Tejada a principios del siglo XIX usando como libro de texto el del francés Brisson porque el contenido de ambas obras era similar. Sin embargo, si lo comparamos con el libro de E. Bour que usó Eduardo Garay a finales de ese siglo para impartir mecánica analítica y aplicada, ya se observa una diferencia considerable tanto en el contenido conceptual como en el manejo de las herramientas matemáticas.

La creación de los cursos de física se incrementó considerablemente durante los regímenes de Manuel González y Porfirio Díaz y coincidió con la intención de introducir la electricidad, el uso del motor eléctrico y la mecanización en la mayor parte de los ámbitos productivos. Se crearon cátedras como electricidad (durante algún tiempo se dividió en dos cursos), mecánica industrial, estática gráfica, la de física matemática adquirió su propia

definición (también se llegó a dividir en dos cursos), y la práctica de mecánica analítica y aplicada que se estableció como obligatoria. De esta manera, los conocimientos de la física ampliaron su rango de aplicación del ámbito de la minería al industrial en general.

Las cátedras de física que se crearon posteriormente estuvieron todas ellas asociadas a aspectos prácticos. Por ejemplo, en la de mecánica analítica y aplicada y la de mecánica industrial se visitaban talleres, establecimientos de máquinas y se observaba el funcionamiento de los motores. En general, asistían a los lugares donde se aplicaban los conocimientos de la mecánica a la industria. En la cátedra de estática gráfica se utilizaban los conocimientos especialmente en la construcción de vigas, arcos, traveses, cimbras, etcétera. En la clase de física matemática se estudiaban diversos temas de física; la física molecular se relacionaba con los cálculos de elasticidad, dureza, maleabilidad, tenacidad y ductilidad de los materiales; en termodinámica se calculaban los rendimientos y las condiciones de funcionamiento de los motores térmicos; también se aplicaban los conocimientos de la electricidad a los distintos tipos de máquinas eléctricas. Era tal la amplitud del contenido de esta cátedra que no todos los temas contenían necesariamente aplicaciones industriales. Los cursos de electricidad estuvieron relacionados con el estudio del alumbrado eléctrico, motores eléctricos, transporte eléctrico y, en general, a aplicaciones eléctricas en diversas industrias. Por último, en la práctica de mecánica se visitaban todo tipo de industrias, como las mineras, metalúrgicas, manufactureras, agrícolas, de transportes, incluyendo también el alumbrado eléctrico.

El retraso de la física y la frustración del desempeño de algunas carreras por la falta de una demanda social

Aunque la física, en particular la mecánica, era considerada como la piedra angular para la ingeniería, al tratar de resolver el problema de la poca demanda que tenían las carreras de ingeniero industrial, ingeniero electricista e ingeniero geógrafo a finales del siglo XIX (ya que coincidían con el hecho de que eran las carreras que mayor cantidad de cursos de física tenían que cubrir), tuvo lugar una reconsideración en su enseñanza apareciendo propuestas que disminuían los temas teóricos para incrementar los prácticos.

Especialmente la cátedra de física matemática donde, como ya se señaló, se enseñaban temas que no necesariamente tenían aplicaciones, se propuso transformarla a física experimental. Pero el problema no estaba en la enseñanza de la física, sino más bien en el campo de trabajo. No queda claro por qué los profesores querían resolver el problema educativo tratando de imitar el sistema de alguna escuela extranjera sin considerar que en esos países la formación científica de los ingenieros estaba estrechamente vinculada con sus necesidades productivas y sociales. Recordemos que en los países centrales las contribuciones científicas más importantes y los cambios técnicos impulsaron el desarrollo industrial del siglo XIX, al grado de adquirir un reconocimiento público tal que se llegó a considerar como el medio que conducía a la prosperidad y progreso. Es más, la integración de la ciencia en el mecanismo productivo exigió, tales como se mencionó anteriormente, la creación de nuevas profesiones como las de ingeniero industrial y electricista, entre otras.

Por desgracia, esta visión de la ciencia parece que no fue comprendida por los profesores de la Escuela Nacional de Ingenieros. Para ellos el progreso no se entendía como el desarrollo de la actividad científica, en todas sus dimensiones, sino como la simple aplicación técnica de ésta. Tampoco se tomaba en cuenta el beneficio de la innovación tecnológica en el sector industrial, sólo se conformaban con aprender a usar y aplicar las máquinas que se importaban al país. No obstante, no todos los profesores pensaban así, como lo muestra el catedrático de química industrial, Fernando Layago, quien insistía en que debido a que México tenía la industria abandonada no era tan rico como Francia. Esta sola afirmación contradice la tesis de algunos historiadores de la industria mexicana quienes aseguran que la carencia de un desarrollo industrial propio fue consecuencia de la falta de ingenieros altamente capacitados, y que por esta razón las empresas que llegaron a establecerse (principalmente extranjeras) preferían contratar ingenieros extranjeros. Existen otras explicaciones que aseguran que las estructuras del mercado internacional condujeron a la dependencia comercial, tecnológica y científica de México hacia Europa y Estados Unidos, al convertirse nuestro país en abastecedor de materias primas para los países industrializados y en comprador de sus manufacturas. Esto significa que, aunque México hubiera tenido ingenieros industriales y electricistas mucho mejor preparados de lo que los

tuvo, la estructura misma del país hubiera impedido que se desarrollaran debido a que tenían que buscar trabajo en empresas particulares (las cuales generalmente eran extranjeras o, en su defecto, nacionales que habían importado todo su equipo) y no en el gobierno (lugar donde conseguían trabajo las demás carreras, como ingeniero civil, ingeniero de minas, ingeniero topógrafo y agrimensor). Es por esto que suponemos que fue la estructura socio-económica de nuestro país la que impidió el desarrollo tanto de la física como de las profesiones cuya formación dependía de esta disciplina.

Reflexión sobre el desarrollo de la física en la Escuela Nacional de Ingenieros del siglo XIX respecto al del Colegio de Minería del siglo XVIII

Al realizar una comparación entre ambas instituciones, se encuentran diferencias y similitudes que es conveniente anotar.

- Tanto el Colegio de Minería como la Escuela Nacional de Ingenieros tuvieron un estrecho vínculo con los grupos en el poder. El colegio con el gremio de los mineros que era el más poderoso de la Nueva España, mientras que la escuela fue con el Estado, la máxima autoridad de México. La física en ambas instituciones se incorporó en los planes de estudio con fines prácticos, especialmente para conocer el manejo, construcción y funcionamiento de las máquinas. A finales del siglo XVIII se ponía especial énfasis en la mecánica, por ser ésta la que explicaba el funcionamiento de las máquinas de esa época; sin embargo, conforme se fueron descubriendo en el mundo nuevos tipos de energía e inventando aparatos para que se pudieran utilizar en el sector industrial, se introdujeron en la Escuela de Ingenieros nuevas cátedras de física para explicar tanto aspectos teóricos como aplicaciones en relación a dichos aparatos y máquinas.

- La mayor parte de los profesores tuvieron que aprender el contenido de sus cursos de manera autodidacta, y sólo en el siglo XVIII se escribió un libro de texto para el curso de física experimental, el cual no llegó a imprimirse.

- Cuando el Colegio de Minería se encontraba en la fase inicial de su creación, los novohispanos Joaquín Velázquez de León y Lucas de Lassaga en su escrito titulado

Representación incorporaron la opción de que los egresados, además de ejercer como técnicos facultativos en minas, pudieran dedicarse al cultivo de la ciencia misma. Caso contrario al de finales del siglo XIX, período en el que se creía que México no necesitaba hombres de ciencia sino ingenieros que supieran aplicar sus conocimientos de manera técnica.

Aunque Antonio de León y Gama no llegó a ser profesor del colegio, a pesar de que fue propuesto por Velázquez de León en el proyecto inicial, destaca como uno de los novohispanos que se interesó por aprender física por gusto propio, ya que en su trabajo no necesitaba de su conocimiento. Este hecho nos muestra que hay parámetros que no hemos considerado aún y que es necesario incorporar para explicar el desarrollo que tuvo la física gracias a individuos como León y Gama, individuos que cultivaron y difundieron la ciencia sin tener un interés técnico por mejorar la producción de algo. También es cierto que el impulso que tuvo la física antes de la creación del colegio era evidentemente un empresa individual, mientras que al institucionalizarse se convirtió en una empresa común, que respondía a intereses claros y definidos de una comunidad donde el cultivo de la física misma se concebía como irrelevante. Seguramente un estudio sobre las publicaciones que sobre física se realizaron en México durante el siglo XIX nos permitiría encontrar otros aspectos del desarrollo de la física que no necesariamente están vinculados con el colegio y la escuela como instituciones que respondieron a intereses de grupos en el poder.

Este trabajo, lejos de estar concluido, abre una serie de líneas de investigación con las cuales nos podemos aproximar, con mayor precisión, a la realidad científica de nuestro país durante el siglo XIX.

Bibliografía

- Aceves, P., Chambers, D. W., "Minería y política en México: el caso de la química (1821-1867)", en *La química en Europa y América (siglos XVIII y XIX)*, Patricia Aceves Pastrana editora, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México, 1994.
- Aguilar y Pérez, J., *Política educativa al servicio de México. Análisis ontológico del pensamiento educativo mexicano*, Tesis, UNAM, 1963.
- Alamán, L., *Historia de Méjico*, Consejo Editorial del gobierno del Estado de Guanajuato, México, 1989.
- Alamán, L., *Obras Completas*, vol. IX.
- Alba Andrade, F., *El desarrollo de la tecnología, la aportación de la física*, Fondo de Cultura Económica, SEP, México, 1987.
- Alighiero, M., *Historia de la educación 2, del 1500 a nuestros días*, Editorial Siglo XXI, México, 1987.
- Alperovich, M. S., *Historia de la independencia de México (1810-1824)*, Editorial Grijalbo, S. A., México, D. F., 1967.
- Alvarez Barret, L., "Justo Sierra y la obra educativa del Porfiriato, 1901-1911", en *Historia de la Educación Pública en México*, SEP/80, FCE, México, 1982.
- Ashby, E., *La tecnología y los académicos*, Monte Avila Editores, A. C., 1969.
- Avilés, R., *Juárez y la educación en México*, Federación Editorial Mexicana, S. A., de C. V., México, 1972.
- Ayala, B., "La ingeniería en tiempo de la independencia", en *Ingenieros en la Independencia y la Revolución*, Sociedad de exalumnos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México, 1987.
- Azuela, L. F., *La investigación científica en el porfiriato desde la perspectiva de las principales sociedades científicas*, Tesis (asesor J. J. Saldaña), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1993.
- Bachelard, G., *La actividad racionalista de la física contemporánea*, Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires, 1975.
- Baldwin, G. B., "Reflexiones sobre la educación, la tecnología industrial y el progreso económico", en *La educación en el mundo de la industria*, Angel Estrada y Cía. S. A., Buenos Aires, 1971.
- Barbosa Heldt, A., *Cien años en la educación de México*, Editorial Pax-México, México, 1985.
- Barreda, G., *La educación positivista en México*, Editorial Porrúa, S. A., México, 1978.
- Basalla, G., *La evolución de la tecnología*, Editorial Grijalbo, S. A., de C. V., 1991.
- Bataller, F. A., *Principios de Física Matemática y Experimental*, Tratado I, II, III, y IV, México, 1802, MS 1511, 1512, 1513, y 1514, FRBN.
- Bazant, J., "Desamortización y nacionalización de los bienes de la Iglesia", en *La economía mexicana de la época de Juárez*, Secretaría de Industria y Comercio, México, 1972.
- Bazant, M., "La enseñanza y la práctica de la ingeniería durante el Porfiriato", en *La educación en la historia de México*, El Colegio de México, México, 1992.

- Bazant, M., *Debate pedagógico durante el Porfiriato*, Secretaría de Educación Pública, México, 1985.
- Beller, W., Méndez, B., Ramírez, S., *El positivismo mexicano*, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México, 1977.
- Ben-David, J., *El Perfil de los Científicos en la Sociedad*, Editorial Trillas, 1974.
- Bernal, J. D., *La Ciencia en la Historia*, Editorial Nueva Imagen, UNAM, 1986.
- Bernal, J. D., *Ciencia e Industria en el siglo XIX*, Ediciones Martínez Roca, S. A., 1973.
- Bernstein, M. D., "La modernización de la economía minera", en *Historia Económica de México*, México, Fondo de Cultura Económica, 1992.
- Bracamontes, L. E., "Ingeniería civil y obras públicas en México", en *Anales de la Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y la Tecnología*, No. 3, México, 1972.
- Brading, D.A., *Mineros y comerciantes en el México Borbónico (1763-1810)*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975.
- Brisson, C., *Tratado Elemental o Principios de Física*, Traducido al castellano por Julián Antonio Rodríguez, Imprenta de la Administración del Real Arbitrio de Beneficiencia, Madrid, 1803.
- Cárabes, J., Reid, M., Pardo F., Flores, J., *Fundamentos político-jurídicos de la educación en México*, Editorial Progreso, S. A., México, 1979.
- Cárdenas, E., *Historia Económica de México*, México, Fondo de Cultura Económica, 1992.
- Cardoso C., Reyna C., "Las industrias de transformación (1880-1910)" en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso coordinador, Editorial Nueva Imagen, México, 1981.
- Cardoso, C., "Las industrias de transformación (1821-1880)", *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso, coordinador, Editorial Nueva Imagen, México, 1981.
- Cardoso, C., *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Editorial Nueva Imagen, 1981.
- Caron, F., *Histoire Economique de la France XIXe - XXe Siecles*, Armand Colin, Éditeur, Paris, 1981.
- Coatsworth, J. H., *Los orígenes del atraso*, México, Alianza Editorial Mexicana, 1990.
- Coatsworth, J. H., "Los ferrocarriles, indispensables en una economía atrasada: el caso de México", en *Historia Económica de México*, México, Fondo de Cultura Económica, 1992.
- Comte, A., *La filosofía positiva*, Editorial Porrúa, S. A., México, 1979.
- Comte, A., *La Física Social*, Biblioteca Aguilar de Iniciación Política, Madrid, 1981.
- Comte, A., *Discurso sobre el espíritu positivo*, Alianza Editorial, Madrid, 1988.
- Cosío Villegas, D., *La cuestión arancelaria en México*, A. Mijares y Hermano, México, 1989.
- De los Ríos, N., *Francisco Bulnes*, México, Edición del Senado de la República III Legislatura, 1987.
- Defilippe Beltraming, M., *Alianza entre ciencia, tecnología e industria*, Anuies, México, 1977.

- Dupree, H., *Science in the Federal Government*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore y Londres, 1988.
- Eckert, M., Schubert, H., *Crystals, electrons, transistors*, American Institute of Physics, New York, USA, 1990.
- Elhuyar, F., *Indagaciones sobre la amonedación en Nueva España*, Miguel Angel Porrúa, S. A., México, 1979.
- Fernández, J., *El Palacio de Minería*, Instituto de Investigaciones Estéticas, México, 1951.
- Figueirôa, S., *Ciência na busca do eldorado: A institucionalização das ciências geológicas no Brasil, 1808-1907*, Tesis, Depto. de História da FFLCH-USP São Paulo, 1992.
- Flores, A., Domínguez A., H. A., *Pioneros de la física*, Editorial Trillas, S. A., México, 1988.
- Flores Caballero, R., "Etapas del desarrollo industrial", en *La economía mexicana de la época de Juárez*, Secretaría de Industria y Comercio, México, 1972.
- Florescano, E., Lanzagorta M. R., "Política económica", en *La economía mexicana de la época de Juárez*, Secretaría de Industria y Comercio, México, 1972.
- Forbes, R. J., *Historia de la Tecnología*, Fondo de Cultura Económica, México, 1958.
- Gamboa, F. X., *Comentarios a las ordenanzas de minas*, J. Ibarra, Madrid, 1761.
- Gómez Navas, L., *Política educativa de México*, Editorial Patria, S. A., México 1982.
- González, L., "La era de Juárez", en *La economía mexicana de la época de Juárez*, Secretaría de Industria y Comercio, México, 1972.
- González Navarro, M., *México: el capitalismo nacionalista*, B. Costa-Amic Editor, México, 1970.
- Gortari, E., *La ciencia en la Historia de México*, Editorial Grijalbo, S. A., México, 1980.
- Guajardo, G., *Ferrocarriles, educación técnica e industria metalúrgica en México: desarrollos y frustraciones 1873-1925*. Tesis (asesor J. J. Saldaña), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1994.
- Haber, S. H., *Industria y Subdesarrollo*, Alianza Editorial, 1992.
- Hall, C. R., *Historia de la Ciencia Industrial de los EE.UU. de América*, Editorial Letras, S. A., México, 1960.
- Herrera Canales, I., "La circulación (comercio y transporte en México entre los años 1880-1910)", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1981.
- Herrera Canales, I., "La circulación: transporte y comercio", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1981.
- Herrera Canales, I., "Comercio exterior", en *La economía mexicana de la época de Juárez*, Secretaría de Industria y Comercio, México, 1972.
- Herrera Sánchez, G., "La Ingeniería en tiempo de la Revolución", en *Ingenieros en la Independencia y la Revolución*, Sociedad de exalumnos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México, 1987.
- Hessen, B., "Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton", en

- Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias*, J. J. Saldaña compilador, UNAM, México, 1989.
- Humboldt, A., *Ensayo político sobre el Reino de la Nueva España*, Editorial Porrúa, México, 1973.
- Izquierdo, J. J., *La primera casa de las ciencias en México: El Real Seminario de Minería (1792-1811)*, Ediciones Ciencia, México, 1958.
- Keremitsis, D., "Desarrollo de las plantas de energía y de la producción durante el Porfiriato", en *Historia Económica de México*, Fondo de Cultura Económica, México, 1992.
- Kevles, D. J., *The Physicists, the story of a scientific community in Modern America*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1987.
- Klein, H. A., *The science of measurement, a historical survey*, Dover Publications, Inc., New York, 1988.
- Koyré, A., "Perspectivas de la historia de las ciencias", en *Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias*, J. J. Saldaña compilador, UNAM, México, 1989.
- Kuhn, T., "La historia de la ciencia", en *Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias*, J. J. Saldaña compilador, UNAM, México, 1989.
- Landes, D. S., *Progreso Tecnológico y Revolución Industrial*, Editorial Tecnos, Madrid, 1979.
- Lassaga, J. L., Velázquez Cárdenas de León, J., *Representación que a nombre de la minería de esta Nueva España hacen al rey nuestro señor*, imprenta de Felipe de Zúñiga y Ontiveros, México, 1774.
- Latour, B., *Science in Action*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1987.
- Le Chatelier, H., *Ciencia e industria*, Espasa-Calpe Argentina, S. A., Buenos Aires, 1947.
- Lemoine, E., *La Escuela Nacional Preparatoria en el periodo de Gabino Barreda 1867-1878*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1995.
- López Cámara, F., *La estructura económica y social de México en la época de la Reforma*, México, Siglo XXI, 1967.
- Lozano, M., "El Instituto Nacional de Geografía y Estadística y su Sucesora la Comisión de Estadística Militar", en *Los Orígenes de la Ciencia Nacional*, Cuadernos de Quipu 4, Sociedad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología, Editor J. J. Saldaña Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1992.
- Macedo, P., *La evolución mercantil; comunicaciones y obras públicas; la hacienda pública*, México, UNAM, 1989.
- Machado-Allison, C. E., *La Herencia Tecnológica*, Instituto de Ingeniería, Caracas, Venezuela, 1989.
- Macleod, R., "Cambio de perspectiva en la historia social de las ciencias", en *Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias*, J. J. Saldaña compilador, UNAM, México, 1989.
- Maksabedián, J., *El método de la física*, Instituto Politécnico Nacional, México, 1982.
- Mason, S., *Historia de las Ciencias 4. La ciencia del siglo XIX*, Alianza Editorial, México, 1988.

- Mendoza Vargas, H., *Los ingenieros geógrafos de México, 1823-1915*. Tesis (asesor J. J. Saldaña), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1993.
- Meneses Morales, E., *Tendencias educativas oficiales en México 1821-1911*, Editorial Porrúa, S. A., México, 1983.
- Mikulinsky, S. R., "La controversia internalismo-externalismo como falso problema", en *Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias*, J. J. Saldaña compilador, UNAM, México, 1989.
- Moles, A., López, S., et al., *Patentes Mexicanas de la segunda mitad del siglo XIX*, Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1988.
- Molina Enriquez, A., "Influencia de las leyes de reforma en la propiedad" en *Historia Económica de México*, México, Fondo de Cultura Económica, 1992.
- Moreno Corral, M. A., *Odisea 1874 o el primer viaje internacional de científicos mexicanos*, SEP, FCE, Colección la ciencia desde México, No. 15, 1986.
- Moreno Corral, M. A. (comp.), *Historia de la Astronomía en México*, SEP, FCE, Colección la ciencia desde México No. 4, 1986.
- Moreno Corral, M. A., "El Observatorio Astronómico Nacional y el desarrollo de la ciencia en México (1878-1910)", en *Quipu*, Revista Latinoamericana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, vol. 5, núm. 1, pp. 59-67.
- Moreno Corral, M. A., "Algunos sucesos que dieron origen a la fundación definitiva del Observatorio Astronómico Nacional de México de 1878", *Quipu*, Revista Latinoamericana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, 3 (1986), 3:299-309.
- Moreno y García, R., *Desarrollo y orientaciones de la educación superior*, Ediciones de la Secretaría de Educación Pública, México, 1945.
- Nava Oteo, G., "La minería bajo el porfiriato", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1981.
- Ortega, F., *Política educativa de México*, Editorial Progreso, S. A., México, 1967.
- Osborn, T., *La educación superior en México*, FCE, México, 1987.
- Palavicini, F., "Debemos formar técnicos", en *Debate pedagógico durante el porfiriato*, Secretaría de Educación Pública, México, 1985.
- Paul, H. W., *From Knowledge to power*, Cambridge University Press, 1985.
- Pletcher, D., *Rails, mines and progress: seven american promoters in Mexico, 1867-1911*, Published for the American Historical Association, Ithaca, New York, 1958.
- Ramírez, S., *Biografía del señor D. Manuel Ruiz de Tejada*, Imprenta del gobierno federal en el ex-arzobispado, México, 1889.
- Ramírez, S., *Datos para la historia del Colegio de Minería*, Edición de la Sociedad "A. Alzate", México, 1890.
- Ramos Lara, M. P., "La Nueva Física y su relación con la actividad minera en la Nueva España", en *Los Orígenes de la Ciencia Nacional*, Cuadernos de Quipu 4, Sociedad Latinoamericana de Historia de la Ciencias y la Tecnología, Editor J. J. Saldaña, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1992.
- Ramos Lara, M. P., *Difusión e Institucionalización de la física en México en el siglo XVIII*, Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, Universidad de Puebla, México, 1994.

Ramos Lara, M. P., Saldaña, J. J., "Difusión de la Mecánica Newtoniana en la Nueva España", en *Mundialización de la Ciencia y Cultura Nacional*, A. Lafuente et al., Madrid, Ediciones Doce Calles, 1993.

Rangel, A., *La educación superior en México*, Jornadas 86, El Colegio de México, 1979.

Riva Palacio, V., *Resumen Integral de México a través de los siglos*, Compañía General de Ediciones, S. A., México, 1972.

Roat, W., *El Positivismo durante el Porfiriato*, SEP Setentas, 1975.

Rodríguez, L., "Ciencia y Estado en México: 1824-1829", en *Los orígenes de la ciencia nacional*, Cuaderno de Quipu 4, Sociedad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología, Editor J. J. Saldaña, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1992.

Rosenzweig, F., "El desarrollo económico de México de 1877 a 1911", en *Historia Económica de México*, México, Fondo de Cultura Económica, 1992.

Saenz de Escobar, J., *Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados. El primero de medidas de tierras, el segundo de minas, el tercero de aguas*, manuscrito, Archivo General de la Nación de México, Tierras, vol. 3706, México, 1749.

Saldaña, J. J., *La notion de Revolution Scientifique: le cas de l'introduction des conceptions ondulatoires dans l'optique du debut du XIX ème siecle*, Tesis presentada para obtener el grado de doctor en la Universidad de París I (Pantheon-Sorbonne), Francia, 1980.

Saldaña, J. J., "La ideología de la ciencia en México en el siglo XIX", en *La Ciencia Moderna y el Nuevo Mundo*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Sociedad Latinoamericana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, Ed. José Luis Peset, Madrid, 1985.

Saldaña, J. J., Compilador, *Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1989.

Saldaña, J. J., "The Failed Search for Useful Knowledge: Enlightened Scientific and Technological Policies in New Spain", en *Cross Cultural Diffusion of Science: Latin America*, Cuadernos de Quipu 2, Sociedad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y de la Tecnología, Editor J. J. Saldaña, México, 1988.

Saldaña, J. J., Medina Peña, L., "La Ciencia en México (1983-1988)", en *Comercio Exterior*, vol. 38, núm. 12, México, diciembre de 1988.

Saldaña, J. J., "La Ciencia y el Leviatán Mexicano", en *Actas de la Sociedad Mexicana de la Historia de la Ciencia y de la Tecnología*, vol. 1, México, 1989.

Saldaña, J. J., "Nacionalismo y Ciencia Ilustrada en América", en *Ciencia, Técnica y Estado en la España Ilustrada*, J. Fernández e I. González (eds.), Madrid, Ministerio de Educación y Ciencia, 1990.

Saldaña, J. J., "Science et pouvoir au XIXe siècle. La France et le Mexique en perspective", en *Science and Empires*, P. Petitjean et al., Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, 1992.

Sánchez Flores, R., *Historia de la Tecnología y la Invención en México*, Fondo de Cultura Banamex, A. C., México, 1980.

San Juan Victoria, C., Velázquez Ramírez, S., "La formación del Estado y las políticas económicas (1821-1880)", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso coordinador, Editorial Nueva Imagen, 1981.

Soberanis, J. A., *Catálogo de patentes de invención en México durante el siglo XIX (1840-1900), ensayo de interpretación sobre el proceso de industrialización en el mercado decimonónico*, Tesis, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 1989.

Solana, F., Cardiel, R., Bolaños, R., *Historia de la educación pública en México*, SEP/80, FCE, México, 1982.

Staples, A., "Panorama educativo al comienzo de la vida independiente", en *Ensayos sobre Historia de la educación en México*, El Colegio de México, 1981.

Staples, A., *Educación: panacea del México independiente*, Biblioteca Pedagógica, México, 1985.

Sunkel, O., Paz, R., *El subdesarrollo latinoamericano y la teoría del desarrollo*, Editorial Siglo XXI, México, 1993.

Tamayo, J. L., *Breve reseña sobre la Escuela Nacional de Ingenieros*, Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura, tomo XVIII, México.

Trabulse, E., *Historia de la Ciencia en México*, tomo IV, CONACYT-FCE, México, 1983.

Trabulse, E., *La ciencia en el siglo XIX*, Fondo de Cultura Económica, Biblioteca Joven, México, 1987.

Urrutia de Stebelski, M. C., Nava Oteo, G., "La minería (1821-1880)", en *México en el siglo XIX (1821-1910)*, Ciro Cardoso coordinador, Editorial Nueva Imagen, México, 1981.

Vaughan, K., *The State, education, and social class in México, 1880-1928*, Northern Illinois University Press, USA, 1982.

Vazquez de Kanauth, J., *Nacionalismo y educación en México*, El Colegio de México, 1970.

Vernon, R., "Juárez y Díaz", en *Historia Económica de México*, Fondo de Cultura Económica, México, 1992.

Villegas, A., *Positivismo y Porfirismo*, SEP setentas, México, 1972.

Wasserman, M., "La inversión extranjera en México, 1876-1910: Un estudio de caso del papel de las élites regionales", en *Historia Económica de México*, Fondo de Cultura Económica, México, 1992.

Yañez, E., "Creatividad laboral en los Ferrocarriles Nacionales de México y la construcción de locomotoras", en *Quipu*, Revista Latinoamericana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, vol. 6, núm. 3, México, 1989.

Zea, L., *El positivismo en México, nacimiento, apogeo y decadencia*, Fondo de Cultura Económica, México, 1981.

Zea, L., *Apogeo y decadencia del positivismo en México*, El Colegio de México, FCE, México, 1944.

APÉNDICE A

"PLANES DE ESTUDIOS DE LAS CARRERAS"

CUADRO A.1. Planes de estudios en 1843¹

ESTUDIOS PREPARATORIOS (3 años)	AGRIMENSOR (4 años)	ENSAYADOR (5 años)
1) - Lógica - Ideología - Gramática castellana - Dibujo natural 2) - Matemáticas puras (aritmética, geometría elemental, trigonometría plana y álgebra) - Francés - Dibujo 3) - Geometría analítica y descriptiva - Teoría de la perspectiva y sombras de los cuerpos - Estereotomía - Trigonometría esférica - Principios generales del cálculo infinitesimal - Francés - Dibujo	1 - 3) Estudios preparatorios 4) - Elementos de mecánica racional - Teoría del calórico, de la electricidad y del magnetismo - Elementos de óptica, de acústica, de meteorología - Inglés - Delineación - Práctica	1 - 3) Estudios preparatorios 4) Igual al del Agrimensor 5) - Elementos de química general y aplicación de la parte inorgánica a la docimasia y metalurgia (tanto métodos nacionales como extranjeros) - Delineación - Inglés - Práctica (medio año en la oficina de ensaye de la ciudad de México y en el laboratorio del Colegio).
APARTADOR DE ORO Y PLATA (6 años)	BENEFICIADOR DE METALES (7 años)	INGENIERO DE MINAS (9 años)
1 - 5 y medio) Igual al del Ensayador medio) Practicando en cualquier oficina de apartado	1 - 5) Igual al del Ensayador 6 y 7) Prácticas, 6 meses en el laboratorio del colegio y un año y medio en Guanajuato donde se establece un escuela de práctica.	1- 5) Igual al del Beneficiador 6) - Mineralogía - Geología - Explotación de minas - Alemán 7, 8 y 9) Práctica. Medio año cursando mecánica aplicada a la minería y análisis químico en el colegio; año y medio en la escuela de Guanajuato, y el último año en cualquier otro mineral.
GEOGRAFO (8 años)	NATURALISTA (7 años)	
1 -4) Igual al del Agrimensor 5 y 6) - Cosmografía, geodesia, uranografía y geografía 7 y 8) Practicando con los ingenieros geógrafos del gobierno.	1 - 6) Igual que el Ingeniero de Minas 7) - Botánica - Zoología	

¹ Al final todos los alumnos tenían que presentar exámen de diversas materias. Todos, con excepción de los naturalistas, tenían que presentar exámen de Física. Además tenían que presentar práctica de mecánica aplicada a la minería y análisis químico. Ver AGN, vol. 37, Justicia e Instrucción Pública 1833-1854.

CUADRO A.2. Planes de estudios de 1858¹

ESTUDIOS PREPARATORIOS	INGENIERO DE MINAS*	ENSAYADOR APARTADOR
Obligatorios y consistían en: - Principios de religión - Aritmética - Gramática castellana - Principios de dibujo natural - Francés	1)- 1er curso de matemáticas (álgebra, geometría, aplicación del álgebra a la geometría y trigonometría plana) - Perfección del dibujo natural - Perfección del idioma francés - Religión 2)- 2do. curso de matemáticas (trigonometría esférica, geometría analítica, series y cálculos diferencial e integral) - Geometría descriptiva - Dibujo de paisaje - Idioma inglés 3) - Mecánica racional e industrial - Topografía y geodesia - Dibujo lineal - Idioma inglés 4) - Física - Astronomía - Dibujo lineal - Idioma inglés 5) - Química general y docimasia - Botánica - Zoología y anatomía comparada - Idioma alemán 6) - Mineralogía - Geología y paleontología - Idioma alemán 7-8) Instrucción especial y práctica en la escuela de aplicación de Fresnillo.	- 1er curso de matemáticas - Física - Química - Docimasia - 3 meses de práctica en las oficinas de ensaye y apartado nacionales
BENEFICIADORES DE METALES*	INGENIERO TOPOGRAFO O AGRIMENSOR	INGENIERO GEÓGRAFO
1-6) Igual que el Ingeniero de Minas	Se dice que seguirán los estudios que previene la ley.	1-4) Igual que el Ingeniero de Minas.
7-8) Igual que el 8avo. año de Ingeniero de Minas y análisis "química"		5) Prácticas.

* La duración de estas carreras era de 8 años. No se especificó la duración de las demás.

¹ AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 72, fs. 86-87.

CUADRO A.3. Planes de estudios de 1867¹

INGENIERO DE MINAS (4 años)	INGENIERO CIVIL (4 años)	INGENIERO GEÓGRAFO E HIDRÓGRAFO (3 años)
<p>1) - Geometría analítica - Álgebra superior - Cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Topografía - Dibujo topográfico</p> <p>2) - Mecánica analítica y aplicada - Geodesia y astronomía práctica - Dibujo de máquinas</p> <p>3) Química aplicada - "Análisis química" incluyendo la docimasia botánica y zoología aplicadas</p> <p>4) - Mineralogía - Geología y paleontología - Pozos artesianos</p> <p>En la Escuela Práctica cursaban el laboreo de minas, las ordenanzas y metalurgia</p>	<p>1) - Geometría analítica - Álgebra superior - Cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Topografía - Hidráulica - Dibujo topográfico</p> <p>2) - Mecánica analítica y aplicada - Conocimiento de los materiales de construcción y de los terrenos en que deban establecer las obras. - Estereotomía - Dibujo arquitectónico</p> <p>3) - Mecánica de las construcciones - Carpintería de edificios - Caminos comunes y de hierro - Composición</p> <p>4) Puentes, canales y obras en los puertos - Composición de historia de la arquitectura</p> <p>Las prácticas se realizaban en las obras públicas y comisiones científicas del gobierno, empresas ferrocarrileras.</p>	<p>1) - Geometría analítica - Álgebra superior - Cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Topografía - Hidráulica - Dibujo topográfico</p> <p>2) - Mecánica analítica - Cálculo de probabilidades aplicado a las ciencias de observación - Geodesia - Dibujo topográfico y geográfico</p> <p>3) - Astronomía teórico-práctica - Hidrografía y física del globo - Dibujo topográfico</p> <p>La práctica de astronomía se llevaba a cabo en el Observatorio Astronómico</p>
ENSAYADORES (2 años)	INGENIERO MECÁNICO (2 años)	BENEFICIADORES DE METALES (3 años)
<p>1) - Geometría analítica - Álgebra superior - Cálculo infinitesimal - "Análisis química", incluyendo docimasia</p> <p>2) - "Análisis química", mineralogía</p> <p>Las prácticas eran simultáneas a los estudios teóricos.</p>	<p>1) - Geometría analítica - Álgebra superior - Cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Dibujo de máquinas</p> <p>2) - Mecánica analítica y aplicada - Dibujo de máquinas</p> <p>En las prácticas se cursaban establecimientos de motores, resistencia de materiales, construcción, establecimiento y estudio comparativo de máquinas, etc.</p>	<p>1) - Geometría analítica - Álgebra superior - Cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva</p> <p>2) - Mecánica analítica y aplicada - Dibujo de máquinas</p> <p>3) - "Análisis química" - Mineralogía</p> <p>Se estudiaba la mineralogía y se llevaban a cabo las prácticas en la Escuela Práctica de los Ingenieros de Minas.</p>

¹ Barreda, G., *La educación positivista en México*, Editorial Porrúa, S. A., México, 1978, pp. 71-74.

INGENIERO TOPOGRAFO E HIDROMENSOR (2 años)		
<p>1) - Geometría analítica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Álgebra superior - Cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Topografía - Hidráulica - Dibujo topográfico <p>2) - Mecánica analítica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geodesia y elementos de astronomía práctica - Dibujo topográfico <p>En la práctica se inclúan los conocimientos de las ordenanzas de tierras y aguas</p>		

CUADRO A.4. Planes de estudios de 1869¹

INGENIERO DE MINAS (6 años)	INGENIERO CIVIL*	INGENIERO GEÓGRAFO E HIDRÓGRAFO (3 años)
<p>1) - Geometría analítica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Álgebra superior - Cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Topografía - Dibujo topográfico <p>2) - Mecánica analítica y aplicada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geodesia - Dibujo de máquinas <p>3) Química aplicada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis químico - Astronomía práctica <p>4) - Mineralogía</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geología y paleontología <p>5-6) Prácticas en la Escuela Práctica, laboreo de minas y ordenanzas y metalurgia</p>	<p>1) - Matemáticas superiores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geometría descriptiva - Topografía - Dibujo topográfico <p>2) - Mecánica analítica y aplicada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mecánica de las construcciones <p>3) - Carpintería de edificios</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caminos comunes y de hierro - Conocimiento de materiales de construcción y de terrenos en que se establecen las obras <p>4) - Puentes, canales y obras en los puertos</p>	<p>1) - Matemáticas superiores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geometría descriptiva - Topografía - Dibujo topográfico <p>2) - Mecánica analítica y aplicada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geodesia - Dibujo topográfico y geográfico <p>3) - Astronomía teórica y práctica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hidrografía y física matemática del globo - Dibujo geográfico
ENSAYADORES*	INGENIERO MECÁNICO (2 años)	INGENIERO GEÓGRAFO (2 años)
<p>1) - Matemáticas superiores</p> <p>2) - Química y análisis químico</p> <p>Prácticas donde estudian elementos de mineralogía.</p>	<p>1) - Matemáticas superiores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geometría descriptiva - Dibujo de máquinas <p>2) - Mecánica analítica y aplicada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dibujo de máquinas 	<p>1) - Matemáticas superiores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geometría descriptiva - Topografía - Dibujo topográfico <p>2) - Mecánica analítica y aplicada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geodesia y elementos de astronomía práctica - Dibujo topográfico

* No se especificó la duración de estas carreras.

¹ El director Blas Balcárcel expidió estos planes de estudio. Consultar CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, cursos, caja 19, exp. 2, fo. 7-8.

CUADRO A.5. Planes de estudios de 1883¹

ESTUDIOS PREPARATORIOS	INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA	INGENIERO INDUSTRIAL
<ul style="list-style-type: none"> - Gramática castellana - Raíces griegas - Francés, inglés y principios de alemán - Aritmética - Álgebra - Geometría plana y en el espacio - Trigonometría rectilínea y esférica - Geometría analítica - Mecánica racional - Física experimental - Química general - Historia natural - Cosmografía y geografía física y política - Lógica - Dibujo lineal y de paisaje 	<ul style="list-style-type: none"> - Álgebra superior - Geometría analítica y cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Topografía e hidromensura - Mecánica analítica y aplicada - Estereotomía y carpintería - Conocimiento de materiales de construcción - Teoría mecánica de las construcciones y construcción práctica - Química analítica y docimasia - Meteorología - Mineralogía, paleontología y geología - Laboreo de minas, pozos artesianos y legislación minera - Metalurgia - Dibujos topográfico, de máquinas y arquitectónico - Prácticas 	<ul style="list-style-type: none"> - Álgebra superior - Geometría analítica y cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Topografía e hidromensura - Estereotomía y carpintería - Mecánica analítica y aplicada - Mecánica industrial - Construcción y establecimiento de máquinas - Química analítica e industrial y docimasia - Meteorología - Conocimiento de materiales de construcción - Teoría mecánica de las construcciones y construcción práctica - Dibujos topográfico, de máquinas y arquitectónico - Prácticas
INGENIERO DE CAMINOS, PUERTOS Y CANALES	INGENIERO GEOGRAFO	TOPOGRAFO E HIDROGRAFO
<ul style="list-style-type: none"> - Álgebra superior - Geometría analítica y cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Topografía e hidromensura - Estereotomía y carpintería - Mecánica analítica y aplicada - Hidrografía y meteorología - Construcción práctica y teoría mecánica de las construcciones - Conocimiento de materiales de construcción - Caminos comunes y ferrocarriles - Puentes, canales y obras en los puertos - Dibujos topográfico, de máquinas y arquitectónico - Composición - Prácticas 	<ul style="list-style-type: none"> - Álgebra superior - Geometría analítica y cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Topografía e hidromensura - Física matemática - Cálculo de las probabilidades y teoría de los errores - Hidrografía y meteorología - Mecánica analítica - Elementos de mecánica celeste - Geodesia y astronomía física y práctica - Elementos de geología - Dibujos topográfico y geográfico - Prácticas 	<ul style="list-style-type: none"> - Álgebra Superior - Geometría analítica y cálculo infinitesimal - Geometría descriptiva - Topografía e hidromensura - Hidrografía y meteorología - Dibujo topográfico - Prácticas

¹ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 2, exp. 18, fo. 139-141. Se reformó la Ley de Instrucción Pública. En este documento no se especifica el tiempo de duración de las carreras.

TELEGRAFISTA	ENSAYADOR Y APARTADOR DE METALES	
<ul style="list-style-type: none"> - Telegrafía general (comprende el trazo, construcción y explotación de líneas terrestres y submarinas) - Hidrografía y meteorología - Prácticas en las oficinas telegráficas del gobierno y en la construcción de líneas 	<ul style="list-style-type: none"> - Química analítica y docimasia - Mineralogía - Apartado - Amonedación y administración de casas de moneda - Prácticas 	

CUADRO A.6. Materias complementarias a los planes de estudios anteriores, 1889¹

INGENIERO ELECTRICISTA	INGENIERO DE MINAS	CAMINOS PUERTOS Y CANALES
<ul style="list-style-type: none"> - Estudios preparatorios 1) Matemáticas superiores - 1er año de electricidad (elementos de electricidad y magnetismo, generadores eléctricos, electrometría, telegrafía, trazo y construcción de líneas terrestres y submarinas, transmisión de señales, relojería eléctrica, aplicaciones eléctricas a los caminos de fierro, pararrayos, galvanoplastia) 2) - Meteorología - 2do curso de electricidad (alumbrado eléctrico, distribución de la electricidad, motores eléctricos, tracción eléctrica, "trasporte" eléctrico de la fuerza a distancia, electro-metalurgia, aplicaciones eléctricas a diversas industrias. - Prácticas 	<p>Se anexa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - "Trasporte" de fuerza - Electrometalurgia - "Explosores" eléctricos 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicaciones eléctricas a los caminos de fierro - Tracción eléctrica - Pararrayos
INDUSTRIAL	ENSAYADOR	
<ul style="list-style-type: none"> - Telefonía - Alumbrado eléctrico - "Trasporte" de fuerza - Aplicaciones industriales diversas 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis electrolítico 	

Estas materias se estudiarían en los cursos generales de electricidad no siendo siempre obligatorias. En esta propuesta firmó Manuel Fernández Leal, oficial mayor encargado de la Secretaría de Estado y del Despacho de Fomento.

¹ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 30, fo. 200-202.

CUADRO A.7. Planes de Estudios de 1892¹

ING. DE MINAS Y METALURGISTA (6 años)	INGENIERO GEÓGRAFO Y ASTRÓNOMO (4 años)	ING. DE CAMINOS, PUERTOS Y CANALES Y CONSTRUCCIONES CIVILES (4 años)
<p>1) - Matemáticas superiores (álgebra superior, geometría analítica, cálculo infinitesimal)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geometría descriptiva - Topografía e hidromensura - Dibujo topográfico - Práctica <p>2) - Mecánica analítica y aplicada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estereotomía y carpintería - Asistir a las conferencias de electricidad - Dibujo de máquinas - Práctica <p>3) - Química analítica y docimasia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teoría mecánica de las construcciones - Dibujo de máquinas - Prácticas y práctica de mecánica aplicada a las minas y a la metalurgia <p>4) - Mineralogía, paleontología, geología</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dibujo de planos geológicos y de minas - Práctica de geología y de materiales de construcción en el exterior, bajar 40 días a minas <p>5) En la escuela práctica: laboreo de minas; pozos artesianos y legislación minera; contabilidad aplicada a las minas y a la metalurgia, bajar 135 veces a las minas</p> <p>6) - Viajes por seis meses visitando dos Distritos distintos</p>	<p>1) - Matemáticas superiores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Topografía y hidromensura - Meteorología - Hidrografía - Primer curso de dibujo topográfico - Un año de práctica <p>2) - Geodesia y astronomía práctica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mecánica racional - Agrimensura legal - Catastro - Segundo año de dibujo topográfico - Práctica de geodesia <p>3) - Astronomía</p> <ul style="list-style-type: none"> - Primer año de física matemática - Geología y mineralogía - Dibujo geográfico - Prácticas <p>4) - Segundo año de física matemática</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cálculo de probabilidades y teoría de los errores - Elementos de mecánica celeste - Dibujo geográfico - Prácticas 	<p>1) - Matemáticas superiores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dibujo topográfico - Práctica de topografía e hidromensura <p>2) - Mecánica analítica y aplicada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hidrografía y meteorología - Estereotomía - Dibujo arquitectónico - Un año de prácticas <p>3) - Teoría mecánica de las construcciones y construcción práctica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estática gráfica - Higiene y saneamiento de las ciudades y edificios - Dibujos de máquinas y arquitectónico - Prácticas <p>4) - Caminos comunes y ferrocarriles</p> <ul style="list-style-type: none"> - Puentes, canales y obras en los puertos - Legislación de ferrocarriles de caminos y de construcciones - Composición - Un año de prácticas y asistir a 20 conferencias de electricidad

¹ CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 4, exp. 10, fs. 105-398.

INGENIERO ELETRICISTA* (2 años)	INGENIERO TOPOGRAFO E HIDROGRAFO* (2 años)	INGENIERO INDUSTRIAL (2 años)
<p>1) - Matemáticas superiores - 1er año de electricidad (igual que en 1889) - Práctica de un año</p> <p>2) - Mecánica aplicada - 2do año de electricidad (igual que en 1889) - Práctica</p>	<p>1) - Matemáticas superiores - Topografía e hidromensura - 1er año de dibujo topográfico - Práctica de topografía e hidrografía</p> <p>2) - Hidrografía y meteorología - Elementos de hidráulica - Agrimensura legal - Segundo año de dibujo topográfico - Práctica de meteorología</p>	<p>1) - Mecánica aplicada - Química analítica - Nociones fundamentales de electricidad - Dibujo de máquinas - Práctica de mecánica y general por un año</p> <p>2) - Mecánica industrial - Química industrial - Construcción y establecimiento de máquinas - Alumbrado eléctrico y aplicaciones industriales de la electricidad - Dibujo de máquinas - Un año de prácticas en industrias</p>
<p>ENSAYADOR Y APARTADOR DE METALES (1 año)</p>		
<p>- Química analítica y docimasia - Prácticas por un año</p>		

* Este año estas carreras no se consideraron como profesiones.

CUADRO A.8. Planes de estudios de 1893¹

INGENIERO INDUSTRIAL	INGENIERO ARQUITECTO	INGENIERO GEÓGRAFO
Algebra superior Geometría analítica Cálculo diferencial Geometría descriptiva Topografía Hidromensura Estereotomía Carpintería Mecánica analítica Mecánica aplicada Mecánica industrial Construcción y establecimiento de máquinas Química analítica Química industrial Química docimasia Meteorología Conocimiento de materiales de construcción Teoría mecánica de construcción Construcción práctica Dibujo topográfico Dibujo de máquinas Dibujo arquitectónico	Algebra superior Geometría analítica Cálculo diferencial Geometría descriptiva Topografía Dibujo topográfico Mecánica analítica Mecánica aplicada Conocimiento de materiales de construcción Estereotomía Dibujo arquitectónico Teoría mecánica de construcción Carpintería Composición Estética, bellas artes y monumentos Arquitectura legal Presupuestos y avalúos	Algebra superior Geometría analítica Cálculo diferencial Geometría descriptiva Topografía Hidromensura Física matemática Cálculo de probabilidades y teoría de errores Mecánica celeste Geodesia y astronomía Geología Dibujo topográfico Dibujo geográfico

¹ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 39, fo. 300-320. Este documento no especifica el intervalo de duración de las carreras.

INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA	INGENIERO TOPOGRAFO E HIDROGRAFO	INGENIERO DE CAMINOS PUENTES Y CANALES
Algebra superior Geometría analítica Cálculo infinitesimal Geometría descriptiva Topografía Hidromensura Mecánica analítica Mecánica aplicada Estereotomía y carpintería Conocimiento de materiales de construcción Teoría mecánica de las construcciones Construcción práctica Química analítica y docimasia Meteorología Mineralogía Paleontología Geología Laboreo de minas (estudios de caminos y canales) Pozos artesianos (estudios de hidrografía) Legislación minera Metalurgia (estudios de apartado y mecánica industrial) Dibujo topográfico Dibujo de máquinas Teoría mecánica de construcción	Hidrografía Meteorología Álgebra superior Geometría analítica Cálculo diferencial Geometría descriptiva Topografía Hidromensura Dibujo topográfico	Algebra superior Geometría analítica Cálculo infinitesimal Geometría descriptiva Topografía Hidromensura Mecánica analítica Mecánica aplicada Estereotomía y carpintería Conocimiento de materiales de construcción Teoría mecánica de las construcciones Construcción práctica Hidrografía Meteorología Caminos comunes y ferrocarriles Puentes Canales y obras de los puertos Dibujo topográfico Dibujo de máquinas Dibujo arquitectónico Composición
TELEGRAFISTA	ENSAYADOR Y APARTADOR DE METALES	
Telegrafía Hidrografía Meteorología	Química analítica Química docimasia Mineralogía Apartado Amonedación y administración de casas de moneda	

Para adquirir el título profesional de ingeniero era indispensable haber realizado las prácticas.

CUADRO A.9. Planes de Estudios de 1897¹

INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA	INGENIERO INDUSTRIAL	INGENIERO CIVIL
<p>1) - Matemáticas superiores (trigonometría esférica, álgebra superior, geometría analítica, cálculo infinitesimal)</p> <p>- Geometría descriptiva</p> <p>- Topografía y legislación de tierras y aguas</p> <p>- Hidrografía y meteorología</p> <p>- Dibujo topográfico y arquitectónico</p> <p>2) - Mecánica analítica</p> <p>- Estereotomía</p> <p>- Carpintería y estructuras de hierro</p> <p>- Física matemática (termodinámica, electromagnetismo, electricidad y electrometría)</p> <p>- Dibujo topográfico y arquitectónico</p> <p>3) - Mecánica general aplicada</p> <p>- Hidráulica e ingeniería sanitaria</p> <p>- Estabilidad de las construcciones</p> <p>- Dibujo de máquinas</p> <p>4) - Química analítica y docimasia</p> <p>- Mineralogía</p> <p>- Geología y paleontología</p> <p>- Economía política</p> <p>- Dibujo de máquinas</p> <p>5) - Laboreo de minas y legislación y administración minera</p> <p>- Metalurgia (Esc. Prac. Pachuca)</p> <p>- Prácticas en la Escuela Práctica de Minas de Pachuca; topografía (2 meses); estereotomía, carpintería y estructuras de hierro; topografía subterránea (2 meses). Práctica de ensayos, apartado, amonedación y administración de casas de moneda. Visitar por seis meses los centros mineros y metalúrgicos más importantes de la República.</p> <p>- Práctica de geología.</p> <p>Asistencia a las lecciones de electrometalurgia de la clase de aplicaciones a la electricidad.</p>	<p>1) - Matemáticas superiores</p> <p>- Geometría descriptiva</p> <p>- Topografía y legislación de tierras y aguas</p> <p>- Hidrografía y meteorología</p> <p>- Dibujo topográfico y arquitectónico.</p> <p>2) - Mecánica analítica</p> <p>- Física matemática</p> <p>- Estereotomía</p> <p>- Carpintería y estructura de hierro</p> <p>- Dibujo arquitectónico y de máquinas.</p> <p>3) - Mecánica general aplicada</p> <p>- Hidráulica e ingeniería sanitaria</p> <p>- Estabilidad de las construcciones</p> <p>- Procedimientos de construcción práctica y conocimientos y experimentación de materiales</p> <p>- Dibujo de máquinas</p> <p>4) - Construcción y establecimiento de máquinas</p> <p>- Aplicaciones de la electricidad</p> <p>- Química aplicada a la industria</p> <p>- Economía política</p> <p>- Dibujo de máquinas</p> <p>Prácticas de topografía (2 meses); estereotomía, carpintería y estructuras de hierro, de mecánica general aplicada (2 meses); aplicaciones industriales más importantes en el país (1 año)</p>	<p>1) Matemáticas superiores</p> <p>- Geometría descriptiva</p> <p>- Legislación de tierras y aguas</p> <p>- Hidrografía y meteorología</p> <p>- Dibujo topográfico y arquitectónico</p> <p>2) - Mecánica analítica</p> <p>- Estereotomía</p> <p>- Carpintería y estructuras de hierro</p> <p>- Física matemática</p> <p>- Dibujo topográfico y arquitectónico</p> <p>3) - Mecánica general aplicada</p> <p>- Hidráulica e ingeniería sanitaria</p> <p>- Estabilidad de las construcciones</p> <p>- Dibujo arquitectónico y de máquinas</p> <p>4) - Vías de comunicación terrestres</p> <p>- Vías de comunicación fluviales y obras hidráulicas de toda especie</p> <p>- Economía política</p> <p>- Dibujo de composición</p> <p>Práctica de topografía (2 meses); estereotomía, carpintería y estructuras de hierro; construcciones civiles; mecánica general aplicada (2 meses). Asistencia a la clase de aplicaciones de la electricidad (transporte de fuerza y a la tracción).</p>

¹ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 18, fo. 520 bis. Este documento no especifica el intervalo de duración de las carreras.

INGENIERO GEOGRAFO	TOPÓGRAFO E HIDRÓGRAFO	ELECTRICISTA
<p>1) - Matemáticas superiores - Geometría descriptiva - Topografía y legislación de tierras y aguas - Hidrografía y meteorología - Dibujo topográfico</p> <p>2) - Mecánica analítica - Geodesia y astronomía práctica - Física matemática - Cálculo de probabilidades y teoría de errores - Dibujo topográfico</p> <p>3) - Astronomía general y física y mecánica celeste - Hidráulica - Geología - Economía política - Dibujo geográfico</p> <p>Prácticas. Topografía (2 meses), astronomía, astronomía física, de un año de operaciones geodésicas y geográficas.</p>	<p>1) - Matemáticas superiores - Topografía y legislación de tierras y aguas - Dibujo topográfico</p> <p>2) - Hidrografía y meteorología - Hidráulica en la parte correspondiente a la hidromensura - Geometría descriptiva en lo relativo al conocimiento de los planos acotados - Astronomía práctica - Economía política - Dibujo topográfico</p> <p>Prácticas de topografía y de astronomía e hidromensura</p>	<p>1) - Matemáticas superiores - Geometría descriptiva - Dibujo de máquinas</p> <p>2) - Mecánica analítica - Física matemática - Dibujo de máquinas</p> <p>3) - Mecánica general y aplicada - Aplicaciones de la electricidad - Economía política - Dibujo de máquinas</p> <p>Durante 2 meses prácticas de mecánica general aplicada. Durante 6 meses aplicaciones de la electricidad en establecimientos industriales del ramo.</p>
<p>ENSAYADOR Y APARTADOR DE METALES</p>		
<p>1) - Química analítica y docimasia - Mineralogía - Economía política</p> <p>Práctica durante el año en el laboratorio de química y en la oficina docimástica de la escuela. Después de los exámenes prácticas durante 6 meses en la Casa de Moneda</p>		

APÉNDICE B

"MATERIAS IMPARTIDAS Y NOMBRES DE LOS PROFESORES"

La información que se presenta en este apéndice proviene de diversas fuentes documentales. En algunos casos, aunque fueron pocos, se encontraron discrepancias en datos que aparentemente deberían ser los mismos, como el nombre de los profesores, el título y el número de las materias impartidas. Estas diferencias se señalaron en el momento adecuado para evitar cualquier confusión.

Las cátedras de física se sombreadaron para distinguirlas de las demás.

CUADRO B.1. Materias impartidas y nombres de algunos de los profesores de 1792 a 1819.¹

1792	1804	1805	1806	1807	1808	1810	1819
Matemáticas Andrés M. Rodríguez	1er curso de Matemáticas M. Ruiz de Tejada	1er curso de Matemáticas M.R. Tejada	1er curso de Matemáticas	1er curso de Matemáticas	1er curso de Matemáticas	1er curso de Matemáticas Manuel Castro	1er curso de Matemáticas Manuel Castro
Física Francisco Bataller	2do. curso de Matemáticas Andrés Ibarra	2do. curso de Matemáticas Manuel Cotero	2do. curso de Matemáticas	2do. curso de Matemáticas	2do curso de Matemáticas	2do curso de Matemáticas Manuel Texuda	2do curso de Matemáticas Joaquín Ramírez
Química Luis Lindner	Física Salvador Sein	Física J.J. de Oteyza	Física	Física	Física	Física J. J. de Oteyza	Física M. R. Tejada
Mineralogía Andrés M. del Río	Química Luis Lindner	Química Manuel A. Castro	Química y metalurgia	Química y metalurgia	Química y metalurgia	Química Manuel Cotero	Química Manuel Cotero
	Mineralogía A. M. del Río	Mineralogía A. M. del Río	Mineralogía y laboreo de minas	Mineralogía y laboreo de minas	Mineralogía y laboreo de minas	Mineralogía A. M. del Río	Mineralogía
	1er. curso de Dibujo	Dibujo	Dibujo	Dibujo	Dibujo		
	2do. curso de Dibujo	Dibujo de delineación	Dibujo de delineación	Dibujo de delineación	Dibujo de delineación		
	Latinidad	Latinidad	Latinidad	Latinidad	1er. curso de latinidad		
	Francés	Francés	Francés	Francés	Francés		
	Geografía	Geografía		Lógica	Lógica		
					2do. curso de Latinidad		

¹ Las referencias que se consultaron fueron. Para 1804, AHPM M.L.91.B Minería informes 1801-1810, p. 159. Para 1805, 1806, 1807, y 1808, *ibid.*, p. 183, pp. 202-209, p. 223, y p. 294 respectivamente. Para 1810, AHPM 1810 I 149. Para 1819, AHPM M.L.101.B.

CUADRO B.2 Materias impartidas y nombres de algunos de los profesores de 1725 a 1843.¹

1825	1833	1834	Nov 1834	1841	1842	1843
1er Matem Manuel Castro	1er Matemáticas Manuel Castro	1er Matem Manuel Castro	1er Matemáticas	1er Matem Manuel Castro	1er Matemáticas	1er Matemáticas
2do Matem Cástulo Navarro	2do Matemáticas Joaquín Rojas	2do. Matem Joaquín Ramírez	2do Matemáticas	2do Matem Cástulo Navarro	2do Matemáticas	2do Matem C. Navarro
Física M. R. Tejada	Física	Física J. V. León	Física	Física M. R. Tejada	Física	Física
Química Manuel Cotero	Química Manuel Herrera	Química Manuel Herrera	Química	Química Manuel Herrera	Química	Química Manuel Herrera
Mineralogía A. M. del Río	Mineralogía	Mineralogía y principios de geología Juan Méndez	Mineralogía	Mineralogía A. M. Río	Mineralogía	Mineralogía A. M. Río
	Historia Natural Miguel Bustamante	Historia natural Miguel Bustamante	Cosmografía		Cosmografía y delineación	Delineación, cosmo- grafía, geodesia y uranografía, Tomas R. Moral
	Geología (renunció Juan Mendez)	Geología Federico Gerald	Gramática francesa			Gramática castellana ideología y lógica José Julián Tornel
	Cosmografía, astronomía y geodesia Luis Varela	Cosmografía, astronomía y geografía Luis Varela	Gramática inglesa			Mecánica aplicada a la minería A. Castillo
	Francés Eduardo Turreau	Francés Eduardo Turreau	Gramática castellana			Geología Manuel Robles
	Alemán Jorge Reeger	Alemán Jorge Reeger	Dibujo			Geografía B. Balcárcel
	Dibujo	Dibujo				Análisis químico
	Delineación	Delineación				Zoología J. V. León
		Inglés				Botánica
						Francés Camilo Bros
						Alemán Caudlo Gem
						Análisis de laboratorio químico L. Río de la Loza

¹ Las referencias que se consultaron fueron: Para 1825, Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 260. Para 1833, AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 10, fs. 101-118; AGN, Justicia e Instrucción Pública, vol. 8, fs. 64. Para 1834, AGN, vol. 11, Justicia e Instrucción Pública 1822-1834. Para 1841, AGN, vol. 13, Justicia e Instrucción Pública, fs. 54-57. Para 1842 y 1843, AGN, vol. 37 Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854.

Cuadro B.3. Materias impartidas y nombres de algunos de los profesores de 1845 a 1881.¹

1854	1858	1861	1863	1867	1868	1869	1877	1881 (dfe)
1o Matemáticas J. Mier y Fernu	1o Matemáticas	Matemáticas	Aritmética, álgebra y geometría	1o. Matemáticas Manuel Fernández				
2do Matemáticas	2do Matemáticas		Geometría analítica y trigonometría M.M.Ponce	Geometría analítica, álgebra superior y cálculo diferencial e integral Blas Balcárcel	Geometría analítica, álgebra superior y cálculo infinitesimal Blas Balcárcel	Matemáticas superiores	Geometría analítica, álgebra y cálculo infinitesimal Leandro Fernández	Álgebra superior y cálculo infinitesimal Blas Balcárcel
Física	Física	Física	Física experimental	Física Agustín Zamora				
Química Ignacio Hierro	Química	Química	Química inorgánica	Química José M. Cesar				
Mineralogía	Mineralogía Prospero Goyzueta	Mineralogía y paleontología	Mineralogía	Mineralogía, geología y paleontología A. del Castillo	Mineralogía, geología y paleontología A. de Castillo	Mineralogía, geología y paleontología	Mineralogía, geología y paleontología A. Castillo	Mineralogía A. Castillo
Zoología y geología Javier Zavala	Zoología Javier Llavo		Botánica, zoología y anatomía	Geometría descriptiva Eduardo Garay	Geometría descriptiva Eduardo Garay	Geometría descriptiva	Geometría descriptiva y dibujo de máquinas Emilio Dondé	Geometría descriptiva Eduardo Gantay
Geología (EPM Fresnillo)	Geología A. del Castillo	Geología	Geología y legislación de minas	Conocimientos prácticos de los materiales de construcción Agustín Zamora		Conocimiento de materiales de construcción	Conservador de gabinetes Fco. Rodríguez Rey	Conocimiento práctico de los materiales de construcción A. Zamora
Geografía	Principios de Construcción y mecánica aplicada a la minería	Geografía astronómica		Mecánica de las construcciones		Mecánica de las construcciones	Teoría mecánica de las construcciones Fco. Chavero	Mecánica de las construcciones
Mecánica aplicada a las minas y mineralogía Prospero Goyzueta	Mecánica Juan Barquera	Mecánica racional	Mecánica racional e industrial. J. V. de León y P. Goyzueta	Mecánica racional y aplicada Miguel Bustamante	Mecánica racional y aplicada Miguel Bustamante	Mecánica analítica y aplicada	Mecánica racional y aplicada Miguel Bustamante	Mecánica racional y aplicada Miguel Bustamante

¹ Las referencias son: Para 1854, AGN vol. 39 Justicia e Instrucción Pública, 1833-1854. Para 1858, AGN, vol. 72, Justicia e Instrucción Pública, 1855-1860, fo. 206, 86-87. Para 1861, Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 427. Para 1863, Ramírez, S., 1890, *op. cit.*, p. 436. Para 1867, CESU, ENI, Administrativo, Personal, listas de empleados y de asistencia, caja 14, exp. 1, fo. 1-2, además CESU, ENI, Administrativo, Personal, Nombramientos, caja 15, exp. 1, fo. 1-15. Para 1868, Tunayo, J. L. *op. cit.*, pp. 16-17. Para 1869, CESU, ENI, Asuntos escolares, correspondencia, caja 27, exp. 2, fo. 3. Para 1877, CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y de asistencia, caja 14, exp. 2, fo. 3-4, y caja 15, exp. 2, fo. 16-20, *Diario Oficial*, 16 enero, 1877. Para 1881, CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y de asistencia, caja 14, exp. 4, fo. 13-15.

1854	1858	1861	1863	1867	1868	1869	1877	1881 (die)
Botánica	Geometría descriptiva y sus aplicaciones J.M. Terán	Principios de construcción	Cálculo diferencial e integral y geometría descriptiva J. Mier y Terán	Cálculo de las probabilidades aplicada a las ciencias de observación, hidrografía y física del globo José Bustamante	Cálculo de las probabilidades, hidrografía y física del globo José Bustamante	Física matemática e hidrografía José Bustamante	Gimnasia	Cálculo de las probabilidades aplicada a las ciencias de la observación hidrografía y física del globo José Bustamante
		Práctica de metalurgia	Análisis químico y ensayos	Química aplicada y análisis químico Ignacio Hierro	Química aplicada y análisis químico Ignacio Hierro	Química aplicada y análisis químico	Química aplicada y analítica Guillermo Hay	Química aplicada y analítica Ignacio Hierro
Geografía y principios de astronomía	Topografía y Geodesia	Topografía	Topografía, geodesia y astronomía práctica Ilurrogui	Topografía e hidráulica M.Fernández Leal	Topografía y hidráulica M.Fernández Leal	Topografía	Topografía e hidráulica M.Fernández Leal	Topografía e hidromensura M. Fernández
Geodesia y astronomía	Astronomía	Astronomía práctica		Geodesia y astronomía práctica F.D. Covarrubias	Geodesia y astronomía práctica F.D. Covarrubias	Geodesia y astronomía práctica	Geodesia y astronomía práctica F.D. Covarrubias	Geodesia y astronomía práctica F.D. Covarrubias
Delineación	Delineación		Delineación	Delineación y dibujo topográfico M.Sánchez Fucio		Dibujo de máquinas	Dibujos topográficos y geográficos Agustín Díaz	Dibujo topográfico y geográfico Agustín Díaz
Inglés Alemán Francés	1o y 2o Inglés Alemán 1o y 2o de Francés		Inglés Alemán Francés	Esteriotomía y carpintería de los edificios Fco. Chaveru	Esteriotomía y carpintería de edificios Fco. Chaveru	Esteriotomía y carpintería de edificios	Esteriotomía y carpintería de edificios Felipe Fortuño	Esteriotomía y carpintería de edificios Fco. Chaveru
Religión			Religión	Caminos comunes y ferrocarriles Eleuterio Mendez	Caminos comunes y ferrocarriles Eleuterio Mendez	Caminos comunes de hierro	Caminos comunes y ferrocarriles Eleuterio Mendez	Caminos comunes y ferrocarriles Eleuterio Mendez
Gimnasia	Gimnástica		Gimnasia	Puentes, canales y obras de los puertos Fco. Garay	Puentes, canales y obras de los puertos Fco. Garay	Puentes, canales y obras en los puertos	Puentes, canales y obras en los puertos Fco. Garay	Puentes, caminos y canales Fco. Garay
Dibujo		Dibujo de paisaje lineal		Dibujo topográfico y geográfico Ventura Alcerrecu	Teoría práctica de dibujos geográficos y topográficos V. Alcerrecu	Dibujo topográfico	Elementos de arquitectura y dibujo arquitectónico	Dibujos de máquinas y arquitectónicos Ventura Alcerrecu
				Inglés Gimnástica	Gimnástica Von Grumer		Preparador de Química Baltazar Muñoz	Geología y paleontología A. Castillo
		Laborio de minas		Dibujo natural y de paisaje Manuel Ocamuz				
				Clase de preparatoria Eduardo Garay				

Cuadro B.4. Materias impartidas y nombres de algunos de los profesores de 1882 a 1891¹

1882	1883	1886	1887	1888	1889	1891
Matemáticas Superiores Leandro Fernández	Matemáticas Superiores Mariano Villamil	Matemáticas Superiores Mariano Villamil	Matemáticas Superiores Mariano Villamil	Matemáticas Superiores	Matemáticas Superiores Mariano Villamil	Matemáticas Superiores Mariano Villamil
Geometría descriptiva y dibujo de máquinas Emilio Dondé	Geometría descriptiva y dibujo de máquinas Emilio Dondé	Geometría descriptiva Emilio Dondé	Geometría descriptiva Emilio Dondé	Geometría descriptiva		Geometría descriptiva Emilio Dondé
Topografía e hidromensura Gilberto Crespo	Topografía e hidromensura Mateo Plowes	Topografía e hidromensura (no hay)	Topografía e hidromensura Mateo Plowes	Topografía e hidromensura	Topografía e hidromensura Mateo Plowes	Topografía e hidromensura Mateo Plowes
Dibujo topográfico y geográfico Eduardo M. Sagredo	Dibujo topográfico y geográfico M. Sagredo	Dibujo topográfico y geográfico Eduardo M. Sagredo	Dibujo topográfico y geográfico Eduardo Sagredo		Dibujo topográfico y geográfico Eduardo Sagredo	Dibujo topográfico y geográfico Eduardo M. Sagredo
Mecánica analítica y aplicada Eduardo Garay	Mecánica analítica y aplicada Fco. Rodríguez Rey	Mecánica Eduardo Garay	Mecánica analítica y aplicada Fco. Rodríguez Rey	Mecánica analítica y aplicada	Mecánica analítica y aplicada Fco. Rodríguez Rey	Mecánica analítica y aplicada Fco. Rodríguez Rey
Geodesia y astronomía práctica Leandro Fernández	Geodesia y astronomía práctica L. Fernández	Geodesia y astronomía práctica Rómulo Ugalde	Geodesia y astronomía práctica L. Fernández	Geodesia y astronomía práctica	Geodesia y astronomía L. Fernández	Geodesia y astronomía práctica Adolfo Díaz Rugama
Arquitectura y dibujo arquitectónico Rodríguez Amugóya	Arquitectura y dibujo arquitectónico Antonio Rivas M.	Dibujo arquitectónico Antonio Rivas M.	Elementos de arquitectura Antonio Anza		Dibujo arquitectónico de máquinas Manuel Velázquez de León	Dibujo arquitectónico y de máquinas (no aparece)

¹ Referencias: Para 1882, CESU, ENI, Asuntos escolares, Correspondencia, caja 27, exp. 2, fo. 3. Para 1883, CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y de asistencia, caja 14, exp. 2, fo. 3-4; CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y de asistencia, caja 15, exp. 6, fo. 263-265. Para 1887, CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y de asistencia, caja 15, exp. 7, fo. 286-290. Para 1888, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 12, exp. 16, fo. 81-86. Para 1889, CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Obras, caja 15, exp. 8, fo. 291-300. Para 1891, CESU, ENI, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 153-260.

1882	1883	1886	1887	1888	1889	1891
Química analítica y aplicada A. Castillo	Química analítica y aplicada A. Castillo	Análisis químico A. Castillo	Química analítica y docimasia Ezequiel Pérez	Química analítica y docimasia	Química analítica y aplicada Ezequiel Pérez	Análisis "química" E. Pérez
Mineralogía, geología y paleontología Manuel Urquiza	Mineralogía, geología y paleontología Manuel Urquiza	Mineralogía, geología y paleontología Manuel Urquiza	Mineralogía, geología y paleontología A. Castillo	Mineralogía	Mineralogía, geología y paleontología Manuel Urquiza	Mineralogía, geología y paleontología A. Castillo
Hidrografía y meteorología Francisco Bulnes	Hidrografía y meteorología Feo. Bulnes	Meteorología e hidrografía Feo. Bulnes	Hidrografía y meteorología Feo. Bulnes	Meteorología	Hidrografía y meteorología Feo. Bulnes	Meteorología e hidrografía Feo. Bulnes
Conocimiento de materiales Gilberto Crespo	Conocimiento de materiales Gilberto Crespo	Conocimiento de materiales M. Tamborrel	Conocimiento de materiales Gilberto Crespo	Conocimiento de materiales	Conocimiento de materiales de las construcciones Eduardo Martínez Iba	Conocimiento de materiales G. Crespo y Martínez
Teoría mecánica de las construcciones Antonio Rivas Mercado	Teoría mecánica de las construcciones Rivas Mercado	Teoría mecánica de las construcciones y construcción práctica Luis Salazar	Teoría mecánica de las construcciones Luis Salazar	Teoría mecánica de las construcciones	Mecánica de las construcciones Roberto Gayol	Teoría mecánica de las construcciones y construcción práctica Luis Salazar
Caminos comunes y ferrocarriles Eleuterio Mendez	Caminos comunes y ferrocarriles Eleuterio Mendez	Caminos comunes y ferrocarriles Eleuterio Mendez	Caminos comunes y ferrocarriles Eleuterio Mendez	Caminos comunes y ferrocarriles	Caminos comunes y ferrocarriles Eleuterio Mendez	Caminos comunes y ferrocarriles Eleuterio Mendez
Puentes, canales y obras en los puertos Feo. de Garay	Puentes, canales y obras en los puertos E. Mendez	Puentes, canales y obras en el mar Feo. de Garay	Puentes y canales Feo. Garay	Puentes, canales y obras en los puertos	Puentes, canales y obras en los puertos L. Fernández	Puentes, canales y obras en el mar Feo. de Garay
Estereotomía y carpintería Ramón Agea	Estereotomía y carpintería Ramón Agea	Estereotomía (no hay)	Estereotomía y carpintería Ramón Agea	Estereotomía y carpintería	Estereotomía y carpintería M. Velázquez de León	Estereotomía R. Agea
	Telegrafía Marlano Villamil	Cálculo de las probabilidades y física matemática Miguel Pérez		Cálculo de probabilidades y teoría de errores	Cálculo de las probabilidades y física matemática Miguel Pérez	Cálculo de probabilidades y teoría de errores (no aparece)
			Elementos de física matemática M. Pérez	Elementos de física matemática		Física matemática Miguel Pérez

1882	1883	1886	1887	1888	1889	1891
		Química industrial Fernando Láyago	Química industrial Fernando Láyago	Química industrial	Química industrial Fernando Láyago	Química industrial Fernando Láyago
		Telegrafía Mariano Villamil	Telegrafía general M. Villamil	Telegrafía general y científica	Telegrafía general M. Villamil	1er año de Ing. Electricista M. Villamil
		Mecánica industrial Miguel Bustamante	Mecánica práctica e industrial Miguel Bustamante	Mecánica práctica e industrial	Mecánica industrial Miguel Bustamante	Mecánica industrial Miguel Bustamante
		Astronomía física y de elementos de mecánica celeste Angel Angulano	Mecánica celeste A. Angulano	Mecánica celeste y astronomía física	Mecánica celeste y astronomía física Felipe Valle	Astronomía física y de elementos de mecánica celeste A. Angulano
		Explotación de minas (Padua) José César				Explotación de minas Luis Carrión
			Estática gráfica José M. Velázquez	Estática gráfica	Estática gráfica José M. Velázquez	Estática gráfica Roberto Gayol
			Economía política Joaquín Casasus	Economía política	Economía política Joaquín D. Casasus	Economía política Joaquín Casasus
				Construcción y estructura de máquinas	Construcción y estructura de máquinas Daniel Palacios	Construcción y estructura de máquinas Daniel Palacios
					Dibujo de composición de arquitectura Juan N. Anza	2do año de Ing. Electricista Alberto Deat
						Metalurgia José M. César

Cuadro B.5. Materias impartidas y nombres de algunos de los profesores de 1891 a 1900¹

1891	1892	1895	1897	1898	1899	1900
Matemáticas superiores M. Villamil	Matemáticas superiores M. Villamil	Matemáticas superiores	Matemáticas superiores		Matemáticas superiores	Matemáticas superiores M. Villamil
Geometría descriptiva Emilio Dondé	Geometría descriptiva Emilio Dondé	Geometría descriptiva	Geometría descriptiva	Geometría descriptiva Bartolo Vergara	Geometría descriptiva	Geometría descriptiva Bartolo Vergara
Topografía e hidromensura Mateo Plowes	Topografía e hidromensura Mateo Plowes		Topografía y legislación de tierras y aguas		Topografía y legislación de tierras y aguas	Topografía y legislación de tierras y aguas Braulio Martínez
Dibujo topográfico y geográfico E. M. Sagredo	Dibujo topográfico E. Sagredo	Dibujo topográfico y geográfico	Dibujo topográfico y geográfico		Dibujo topográfico y geográfico	Dibujo topográfico y geográfico Ricardo López Guerrero
Mecánica analítica y aplicada Fco. Rodríguez Rey	Mecánica analítica y aplicada Fco. Rodríguez Rey	Mecánica analítica y aplicada	Mecánica analítica		Mecánica analítica	Mecánica analítica Fco. Rodríguez Rey
Geodesia y astronomía práctica Adolfo Díaz Rugama	Geodesia y astronomía Adolfo Díaz Rugama	Geodesia y astronomía (se canceló por falta de alumnos)	Geodesia y astronomía práctica		Geodesia y astronomía práctica	Astronomía práctica
Elementos de arquitectura y dibujo de máquinas Antonio Rivas Mercado	Dibujo de composición Antonio M. Anza		Dibujo de composición		Dibujo de composición	Dibujo de composición Emilio Dondé
Química analítica y docimasia E. Pérez	Química analítica E. Pérez		Química analítica y docimasia		Análisis "química"	Química analítica y docimasia E. Pérez

¹ Las referencias son: Para 1891, CESU, ENI, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 153-260; además CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y asistencia, caja 15, exp. 12, fo. 309-310; este año se repitió dos veces porque la información de las fuentes no coincidió. Para 1892, CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 105-398. Para 1895, CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 13, fo. 407-411. Para 1897, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 18, fo. 520 bis; CESU, ENI, Administrativo, Contabilidad, Presupuestos, caja 12, exp. 25, fo. 114-121. Para 1898, CESU, ENI, Administrativo, Personal, Nombres, caja 15, exp. 13, fo. 53-61. Para 1899, CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 20, fo. 522-294. Para 1900, CESU, ENI, Administrativo, Personal, Listas de empleados y asistencia, caja 15, exp. 12, fo. 311-315; CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 8, exp. 14, fo. 422-439; CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 21, fo. 595-634.

1891	1892	1895	1897	1898	1899	1900
Paleontología Juan Villarelo	Mineralogía, geología y paleontología Juan de Villarelo		Mineralogía, geología y paleontología		Metalurgia	Mineralogía, geología y paleontología Miguel Bustamante
Meteorología e hidrografía Feo. Bulnes	Meteorología e hidrografía Francisco Bulnes		Hidrografía general y meteorología		Meteorología e hidrografía	Hidrografía y meteorología Francisco Bulnes
	Conocimiento de materiales Eduardo Martínez Baca		Procedimientos de construcción práctica y conocimiento y experimentación de materiales	Procedimientos de construcción práctica Antonio M. Anza	Procedimientos de construcción conocimiento de los materia- les y determi- nación de su resistencia	Procedimientos de construcción práctica y conocimiento y experimentación de materiales Gilberto Montiel
Teoría mecánica de las construcciones Roberto Gayol	Mecánica de las construcciones Juan N. Anza	Mecánica de las construcciones	Estabilidad de las construcciones métodos analíticos y gráficos	Estabilidad de las construcciones Luis Salazar	Estabilidad de las construcciones	Estabilidad de las construcciones Braulio Martínez
Caminos comunes y ferrocarriles E. Mendez	Camino comunes y ferrocarriles Carlos Daza		Vías de comunicación terrestre	Vías de comunicación terrestre Carlos Daza	Vías de comunicación terrestre	Vías de comunicación terrestre Carlos Daza
	Puentes y canales Feo. de Garay		Vías de comunicación fluviales	Vías de comunicación fluviales Manuel Marroquín y Rivera	Vías fluviales y obras hidráulicas	Vías fluviales y obras hidráulicas Juan Mateos
Estereotomía R. Agea	Estereotomía y carpintería Ramón Agea		Estereotomía Carpintería y estructuras de hierro		Corte de piedras, maderas y estructuras de hierro	Estereotomía, carpintería y estructuras de hierro Ramón Agea
Elementos de física matemá- tica y cálculo de probabilidad- es y teoría de errores Miguel Pérez	Cálculo de probabilidades Miguel Pérez	Cálculo de probabilidades y física matemática (se canceló por falta de alumnos)	Cálculo de probabilidades y teoría de errores		Cálculo de probabilidades	Cálculo de probabilidades Juan Mateos
	Física matemática Miguel Pérez		Física matemática	Física matemática Mariano Villamil	Física matemática	Física matemática Mariano Villamil

1891	1892	1895	1897	1898	1899	1900
Química industrial Fernando Layago	Química industrial Fernando Layago	Química industrial (se canceló por falta de alumnos)	Química aplicada a la industria	Química industrial Eduardo Martínez Bacu	Química industrial	Química industrial Eduardo Martínez Bacu
1er año de Ing. Electricista M. Villamil	1er año de Ing. Electricista M. Villamil	1er año de electricidad	Aplicaciones de la electricidad	Aplicaciones de la electricidad Fco. Garibay	Aplicaciones de la electricidad	Aplicaciones de la electricidad Fco. Garibay
2do año de electricidad Alberto Best		2do año de electricidad			Elementos de astronomía práctica	
	Mecánica industrial Miguel Bustamante	Mecánica industrial	Mecánica general aplicada		Mecánica aplicada	Mecánica aplicada Miguel Bustamante
Astronomía física y elementos de mecánica celeste A. Anguiano	Astronomía física Angel Anguiano	Mecánica celeste y astronomía física (se canceló)	Astronomía general y física y mecánica celeste		Astronomía física y elementos de mecánica celeste	
			Metalurgia, laboreo de minas y administración y legislación minera		Explotación de minas	
Estática gráfica Miguel Velázquez de León	Estática gráfica José Velázquez	Estática gráfica			Estática gráfica Luis Salazar	
Economía política Joaquín D. Casusus	Economía política Joaquín D. Casusus		Economía política		Economía política	Economía política Lorenzo Etzaga
Construcción y estructura de máquinas Daniel Palacios	Construcción y establecimiento de máquinas Daniel Palacios	Construcción y establecimiento de máquinas (se canceló)	Construcción y establecimiento de máquinas		Construcción y establecimiento de máquinas	Construcción y establecimiento de máquinas Daniel Palacios
			Dibujo arquitectónico y de máquinas		Dibujo arquitectónico y de máquinas	Dibujo arquitectónico y de máquinas A. R. Mercado
			Hidráulica e ingeniería sanitaria	Práctica general de los ingenieros civiles J. M. Velázquez	Hidráulica e ingeniería sanitaria	Hidráulica e ingeniería sanitaria Mateo Plowes

APENDICE "C"
**PROYECTOS DE CREACION DE LAS CARRERAS DE INGENIERO
ELECTRICISTA Y DE MAQUINISTA**

Carrera de Ingeniero Electricista

Para la creación de la carrera de ingeniero electricista se elaboraron dos proyectos, uno en 1888 y el otro en 1891. El primero de éstos fue presentado a la Dirección de la Escuela Nacional de Ingenieros por el profesor de telegrafía general. El escrito iniciaba mencionando la importancia de la electricidad en la industria. Se decía que era una ciencia que se cultivaba con esmero en los E.E. U.U. y en Europa por sus contribuciones al desarrollo científico e industrial, mientras que en México se podría aprovechar como un agente adecuado para explotar sus riquezas. Se destacaban las siguientes aplicaciones de la electricidad en:

a) Las minas, para accionar las perforadoras y explosivos, el acarreo de metales, desagüe, ventilación, etc. Por esta razón se consideraba conveniente que se incorporara la clase de electricidad a los planes de estudios de las carreras de ingeniero de minas, ingeniero civil e ingeniero industrial.

b) Los tranvías y ferrocarriles eléctricos, el sistema de "teleferage", la comunicación telegráfica y telefónica de los trenes en movimiento, cambios de vías, medios de aviso y de seguridad, alumbrado de estaciones, túneles y trenes, establecimiento de pararrayos, etc. Estas aplicaciones son de especial interés del ingeniero civil.

c) La Electrometalurgia, el transporte y distribución de la fuerza, el alumbrado utilizado en las fábricas y talleres así como los procedimientos electrolíticos que se usaban en la fabricación de colores, tintorería, desinfección y rectificación de alcoholes, etc. Estas aplicaciones eran del interés del ingeniero industrial.

d) El aprovechamiento de la fuerza de las caídas de agua y las corrientes del viento. Se pensaba que con esto se podría resolver el problema de la escasez de combustible en el país.

e) El alumbrado eléctrico, pues disminuirían los costos del alumbrado producido por quema de gas.¹

Como todas estas aplicaciones eran del interés del ingeniero, era necesario crear una nueva profesión que pudiera abarcar todos los ramos de la ciencia eléctrica, desde la teoría y construcción de los aparatos hasta su aplicación a cualquier industria. Dicha profesión se conocía en Europa como ingeniero electricista. En México sustituiría a la carrera de telegrafista, por ser más general y por quedar aquella totalmente contenida en ésta. Se consideraba conveniente que otras carreras cursaran las clases de electricidad, como las de ingeniero industrial, ingeniero civil e ingeniero en minas. Los ingenieros electricistas trabajarían en la fabricación de máquinas y aparatos eléctricos adecuados a sus diversos usos; en la formación y cálculo de proyectos para las aplicaciones industriales por medios eléctricos; en la ejecución de esas mismas instalaciones; en la rectificación de aparatos especialmente los que se utilizan en la medida del gasto de energía eléctrica del alumbrado

¹ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 2, exp. 25, fo. 151-158.

público; además trazaría y construiría las líneas telegráficas y telefónicas; en el establecimiento de relojes eléctricos, pararrayos, advertidores; en la galvanoplastia aplicada a la "electrografía electrograbado"; y en todas las reproducciones artísticas, plateado, dorado, nikelado, etc.

El plan de estudios estaba diseñado de la siguiente manera:

i) *Estudios preparatorios*: que eran los mismos que llevaban las demás carreras, con excepción de cursos como alemán, lógica e historia natural.

ii) *Estudios profesionales*: consistían de dos años, distribuidos de la siguiente manera:

1er año. Nociones generales de electricidad y magnetismo, estudiando los principios de electrometría, telegrafía y telefonía, trazo, construcción y explotación de líneas terrestres y submarinas, aplicaciones de la electricidad a los ferrocarriles y matemáticas superiores.

2do. año. Aplicaciones industriales de la electricidad al alumbrado, al transporte y distribución de la fuerza galvanoplástica, a la electrometalurgia y todas las demás ramas de la ingeniería y la industria, meteorología e hidrografía.

Cada año se tenía la obligación de realizar prácticas conforme al reglamento especial.

Se sugería que los cursos de 1o y 2o año de electricidad fueran obligatorios para los alumnos de las carreras de ingeniería industrial, de ingeniería de caminos, puertos y canales, y de ingeniería de minas y metalurgista. Los últimos sólo presentarían un examen y asistirían a la práctica.²

El segundo proyecto fue presentado el 22 de enero de 1891 por Mariano Villamil y Alberto Best a Leandro Fernández, director de la Escuela de Ingenieros. Este consistía de de cinco artículos:

Artículo 1. En este artículo se indicaban las materias que los estudiantes debían cursar, esto es:

a) *Estudios preparatorios*. Los mismos que para las demás carreras de Ingeniería con excepción de cursos como alemán, lógica, historia general, cosmografía e historia natural.

b) *Estudios profesionales*. 1er año: matemáticas superiores, 1er año de electricidad y magnetismo, generadores eléctricos, electrometría, telegrafía, telefonía, trazo y construcción de líneas terrestres y submarinas, transmisión de señales, relojería eléctrica, aplicaciones eléctricas a los caminos de fierro, pararrayos y galvanoplastia. 2do año: meteorología, 2do curso de electricidad (alumbrado eléctrico, distribución de la electricidad, motores eléctricos, tracción eléctrica, transporte eléctrico de la fuerza a distancia, electro-metalurgia, aplicaciones eléctricas a diversas industrias

Artículo 2. Al termino de los cursos, los alumnos realizarían las prácticas de esas materias bajo la dirección de sus respectivos profesores visitando las instalaciones que hubiese en el país y aún fuera de él en caso de ser posible.

Artículo 3. El título se otorgaría conforme a lo previsto para las demás carreras de ingeniería.

² *Ibidem.*

Artículo 4. Las materias obligatorias para las demás carreras de ingeniería se efectuarían de la siguiente manera: a) Para el ingeniero de minas: telefonía, pararrayos, alumbrado aplicado a las minas, transporte de fuerza, electrometalurgia y explosores eléctricos. b) Para el ingeniero de caminos puertos y canales: aplicaciones eléctricas a los caminos de fierro, tracción eléctrica y pararrayos. c) Para el ingeniero industrial: telefonía, alumbrado eléctrico, transporte de fuerza, aplicaciones industriales diversas. d) Para el ensayador: análisis electrolíticos.

Artículo 5. Dichas materias serían estudiadas en los cursos generales de electricidad siendo solamente obligatoria la asistencia a las clases cuando se tratara de las materias respectivas que serían el objeto del correspondiente examen.³

Carrera de maquinista

El 10 de junio de 1890, el catedrático Daniel Palacios fue comisionado para elaborar el programa de estudios de la carrera de maquinista y crear una Escuela práctica de maquinistas donde se impartieran dichos estudios. La carrera se dividió en dos: maquinista especialista conductor de locomotivas y maquinista en general. La primera se consideraba como especialista en el ramo de motores de vapor y particularmente en el de locomotivas, sus estudios serían de corta duración. Entre tanto la segunda incluía un plan de estudios mucho más amplio que la primera, de hecho era considerada como una carrera de ingeniería porque los alumnos no sólo tenían que preocuparse por montar e instalar toda clase de motores, sino que además tenían que ser instruidos como constructores de todas las clases de máquinas. Tendrían también bajo su responsabilidad un taller de construcción de máquinas para calcular las resistencias y dimensiones de ciertos órganos de las máquinas que se usaban en la industria; sabrían manejar y determinar los efectos de las máquinas que se usaban en los talleres de construcción, como tomos, cepillos, fresadoras, máquinas de amortajar, taladros, ventiladores de alta y baja presión, martillos a vapor o de pedal, prensas etc. Calcularían e instalarían prácticamente piezas de transmisión como poleas, tambores, engranes y bandas; distinguirían y ensayarían los metales que se empleaban en la fundición y vaciado de las piezas. Se decidió crear esta carrera por la construcción y explotación de ferrocarriles en México.⁴

Por la responsabilidad que el trabajo exigía, se estableció como edad mínima para ingresar a esta carrera la de 20 años. Además de las materias técnicas y científicas se llevaban cursos de francés e inglés.

Los documentos donde se encuentra esta información hacen referencia a la creación de una Escuela Práctica de Maquinistas que supuestamente había iniciado el Ministro de Fomento para los obreros (torneros y cerrajeros), incluso se sugiere se dieran clases por la noche.

El plan de estudio de la carrera de maquinista especialista en el ramo de locomotiva estaba constituido de la siguiente manera:

³ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 34, fo. 289-290

⁴ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 33, fo. 251.

Cursos preparatorios. Aritmética y álgebra (hasta ecuaciones de primer grado), geometría plana, áreas y volúmenes de los cuerpos redondos, trigonometría plana, física, hidrostática y calor, idiomas francés e inglés.

Curso profesional. Nociones de mecánica, caracteres de una fuerza, composición y descomposición de las fuerzas aplicadas a un punto, fuerzas paralelas, máquinas simples, palanca, mufla o garrucha, torno o cabrestante, ruedas dentadas, plano inclinado, tornillo y cuña, gravedad o peso específico, densidad, cálculo del peso de un cuerpo cualquiera. Locomotivas, descripción de la caldera, locomotivas con cilindros interiores (cigleñales, trabajo práctico de las locomotivas, vías, rieles, juntas, fuerza centrífuga en las curvas de la vía, vía angosta, resistencia a la tracción, etc.), bombas, materiales empleados en la construcción de las máquinas y sus propiedades físicas, etcétera.⁵

El plan de estudio de la carrera de la carrera de maquinista en general:

Cursos preparatorios: aritmética y álgebra, geometría plana y en el espacio, trigonometría plana, aplicación del álgebra a la geometría, geometría analítica de dos dimensiones, cálculo infinitesimal, física, idiomas, francés e inglés.

Cursos profesionales: 1er año. Mecánica analítica, motores de vapor, motores hidráulicos, geometría descriptiva, dibujo lineal y de lavado y práctica en los talleres de la Escuela. 2do. año. conocimiento y resistencia de los materiales empleados en la construcción e instalación de las máquinas, mecanismos, nociones de química, dibujo de "órganos" de máquinas y práctica en los talleres de la Escuela. 3er año. Nociones sobre fundición de metales, moldes de algunos "órganos" de máquina, empleo del aire, ventiladores, sus dimensiones y cálculo, ventímetro y válvula para regular la intensidad del soplo en la forma o en los hornos de fundición, dificultades que suelen presentar algunas máquinas en la construcción de los órganos, diversas formas de buriles y fresas, su modo de acción y su temple fundado en los anillos coloreados, máquinas de vapor, calderas, nociones sobre construcción de máquinas (remaches, tornillos, muñones, grapodinas), etcétera.⁶

Además realizaban prácticas durante un año en los establecimientos de construcción militar o en las compañías ferrocarrileras que el gobierno estableciera mientras se creaban los talleres de la Escuela de Ingenieros.

Luis Salazar, catedrático de estabilidad de las construcciones, decía al Ministerio que no estaba de acuerdo con el proyecto de Palacios. Proponía que en lugar de crear la carrera de maquinista en general se perfeccionara la carrera de ingeniero industrial de tal manera que quedara incluida. Respecto a la creación de la carrera de maquinista conductor de locomotivas si estaba de acuerdo en establecerla, siempre y cuando los estudiantes fueran mayores de 20 años y comprobaran tener estudios preparatorios o al menos haber aprobado las siguientes materias: elementos de gramática española, geografía de México, aritmética, álgebra (hasta ecuaciones de 1er grado), elementos de geometría, y trigonometría plana. Propuso que los estudios de maquinista conductor de locomotivas fueran teóricos y prácticos y se efectuaran en dos años de la siguiente manera:

⁵ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, cursos, caja 20, exp. 16, fo. 509-516.

⁶ *Ibidem.*

1er año: *elementos de física, elementos de mecánica*, conocimientos de los materiales de construcción empleados en las máquinas y herraminetas. Nociones de francés y primer año de inglés.

2do año: conocimiento exacto y detallado de todas las locomotivas y locomóviles de los diversos sistemas empleados en los ferrocarriles y establecimientos industriales, trabajo práctico de las locomotivas, conocimientos para la apreciación de las pendientes y curvas de un ferrocarril relacionadas con la tracción. Estudio de los reglamentos y disposiciones relativas a la marcha de los trenes en las vías férreas, segundo año de inglés, dibujo lineal.

Los estudios prácticos se llevarían a cabo al mismo tiempo que los teóricos, utilizando las mañanas para los primeros y las tardes para los segundos. En el primer año se podrían visitar los gabinetes de física y mecánica de la Escuela Nacional y los talleres, fundiciones y establecimientos industriales del Gobierno o de particulares, y compañías que permitieron el acceso a sus instalaciones. En el segundo año la práctica se haría en los talleres y estaciones de las empresas ferrocarrileras. La Secretaría de Fomento gestionaría con las empresas ferrocarrileras del país la admisión durante seis meses de los alumnos que hubieren terminado su carrera para que iniciaran sus prácticas.

El secretario de fomento, Carlos Pacheco, dijo que se establecía en el Distrito Federal una Escuela Práctica para maquinistas, donde se impartía la carrera de maquinista práctico, bajo el siguiente programa: aritmética, álgebra (hasta ecuaciones de 1er grado), geometría elemental, trigonometría plana, elementos de física, elementos de mecánica, conocimiento práctico de los materiales de construcción empleados en las máquinas y de las herramientas útiles etc., empleados al armar y desarmar las máquinas, conocimientos prácticos y detallados de las máquinas de vapor y especialmente de las locomotivas cuyos sistemas son preferidos por sus ventajas. Conocimiento del trabajo práctico y manejo de las locomotivas y de las máquinas de vapor en general, conocimiento de los reglamentos y disposiciones relativas a la marcha de los trenes en las vías férreas, dibujo lineal, dibujo de máquinas, nociones de francés, nociones de inglés, práctica en los talleres de ferrocarriles, en los de fundiciones y en los establecimientos industriales.⁷

La Escuela Práctica se estableció el 18 de diciembre de 1890 por decreto del presidente Porfirio Díaz.

⁷ CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 33, fo. 257.

APÉNDICE "D"

PROGRAMAS DE LAS CÁTEDRAS DE FÍSICA

MECÁNICA (1882)¹

Cinemática:

Consideraciones generales sobre la mecánica. Movimiento simple de un punto. Estudio de la ley del movimiento de éste, independiente de la naturaleza de la trayectoria. Estudio del movimiento sobre la trayectoria. Teoría de los movimientos simultáneos. Teoría general de los movimientos simultáneos. Método de Roberval para trazar tangentes a las curvas. Aceleración en los movimientos simultáneos. Teoría general de la aceleración en el movimiento curvilíneo. Movimiento de un punto relativamente a un sistema móvil. Definición de movimiento relativo de un punto. Movimientos de traslación y rotación. Composición y descomposición de los movimientos. Composición de las velocidades. Composición de las aceleraciones. Movimiento de un cuerpo sólido alrededor de un punto fijo. Teorema fundamental de d'Alembert. Teorema de Poinsot. Movimiento de dos sólidos sujetos a permanecer en contacto. Movimiento general de un cuerpo sólido. Teorema de Julio Mozzi. Composición de los movimientos simples de un sólido. Composición y descomposición de las traslaciones y rotaciones.

Teoría de los mecanismos

Definición de máquina y enumeración de sus partes principales. Clasificación de las máquinas elementales según Rovertó Willis. Guías del movimiento circular y rectilíneo. Clase en la que la relación de las velocidades es constante. Su primer género. Engranés cilíndricos exteriores. 2a, 3a y 4a solución práctica. Engranés cilíndricos exteriores. 5a solución práctica. Odontógrafo. Engranés cilíndricos interiores. Engranés cónicos. Engranés hiperboloides. Tornillo sin fin. Detalles generales sobre los engranes. Segundo y tercer género de la 1er clase, es decir, de aquella en que la relación de las velocidades es constante. Tercer género de la clase. Poleas locas, cuerdas y cadenas. Transmisión de movimiento por intermedio de un líquido. Primer género de la clase en que la relación de las velocidades es variable. Segundo y tercer género de la clase en que la relación de las velocidades es variable. Primer género de la clase en que varía periódicamente el sentido de la transmisión del movimiento. Segundo género de la clase en que varía periódicamente el sentido de la transmisión. Organos que sirven para iniciar y suspender el movimiento. Medios para modificar un enlace de éste. Medios de observación, y aparatos adecuados para descubrir experimentalmente la ley de un movimiento.

¹ La información que se encuentra en este apéndice se reprodujo casi literalmente, lo único que se cambió fue la ortografía en algunas palabras para hacerlo más accesible al lector. CESU, ENI, Académico, Planes y Programas de Estudio, Cursos, caja 19, exp. 5, fo. 18-103

Estática

Principios fundamentales de la estática y de la dinámica. Equilibrio de un punto material. Medida de las fuerzas. Definición de masa. Trabajo de las fuerzas, Teoría geométrica de los momentos. Nociones sobre la constitución de los cuerpos. Equilibrio de un punto material libre, no absolutamente libre, sujeto a permanecer sobre una superficie fija y sobre una curva fija. Equilibrio de un sistema cualquiera de puntos materiales. Diferentes principios de la estática. Teorema del trabajo virtual. Ecuaciones generales del equilibrio de un sistema material cualquiera. Casos particulares de ellas. Fuerzas equivalentes. Teoría de los pares. Composición de los pares. Condiciones del equilibrio. Reducción de las fuerzas a dos equivalentes. Equilibrio de un sólido que no está absolutamente libre. Máquinas. Equilibrio de los cuerpos pesados. Cuerdas y polígono funicular. Equilibrio de los sistemas de cuerpos rígidos articulados sin rozamiento. Introducción a la teoría de la resistencia de los materiales. Importancia de la noción del trabajo. Unidad de éste y sus fuentes. Principio del trabajo. Teoría de la transmisión de éste en las máquinas. Estudio que debe preceder a un proyecto de máquina. Movimiento uniforme. Imposibilidad del movimiento perpetuo. Resistencias pasivas. Leyes del rozamiento. Observaciones relativas a estas leyes. Equilibrio de las máquinas simples teniendo en consideración el rozamiento. Equilibrio de la cuña y del tornillo. Resistencia en el rodamiento. Rozamiento mixto de los engranes. Frotamiento en el tornillo sin fin. Cuerdas y correas. Rozamiento de las cuerdas y correas. Aparatos que sirven para medir el trabajo de las fuerzas. Indicador de Watt. Dinamómetros. Aparatos dinamométricos de Prony.

Dinámica

Ecuaciones diferenciales del movimiento. Movimiento de un punto material libre. Movimiento de un punto material no libre. Fuerza de inercia. Teoremas relativos al movimiento de un punto material. Teorema de las fuerzas vivas. Teoremas relativos a las cantidades de movimiento. Teoría de los movimientos relativos. Extensión de los teoremas generales de la Dinámica al caso de los movimientos relativos. Caída de los cuerpos en el vacío. Movimiento del péndulo simple. Teorema de d'Alembert. Su aplicación a la determinación de las cargas dinámicas de los apoyos y soportes. Movimiento del centro de gravedad de un sistema cualquiera. Teoremas relativos a las cantidades de movimiento. Teorema de las fuerzas vivas. Extensión de los teoremas generales sobre el movimiento de los sistemas materiales al caso de los movimientos relativos. Teoría del choque. Aplicación de los teoremas generales al caso de un cuerpo sólido. Teoría de los momentos de inercia. Movimiento variado de las máquinas. Teoría de los volantes y cálculo de una máquina de simple efecto. Cálculo del volante de una máquina de doble efecto. Influencia de las masas excéntricas. Frenos y reguladores. Util y Transmisión.

Mecánica aplicada

Elementos del trabajo de las máquinas. Trabajo de los motores animados. Caracteres fundamentales del trabajo de los motores animados y todo lo que a él se refiere.

Hidráulica Práctica: Derrame de los líquidos por orificios de diversos géneros. Orificios completos. Derrame con contracción completa. Derrame con contracción incompleta.

Orificios rectangulares verticales alimentados por un granreceptaculo y presentando las disposiciones ordinarias de las compuertas empleadas en la práctica. Coeficientes del gasto teórico de los orificios circulares alimentados por un receptáculo y provistas de tubos aditicios de diversos géneros. Cálculo del gasto efectivo de los orificios rectangulares alimentados por un canal, produciéndose el derrame en las circunstancias ordinarias de la práctica. Orificios incompletos. Vertedores alimentados por un gran receptáculo y derramando libremente el agua. Las mismas pero derramando el agua en un líquido. Cálculo del gasto de las compuertas vertedores y de los diques transversales establecidos en un canal o en un curso de agua natural. Medida de las cargas del vertedor. Diques y vertedores de diversas formas establecidas en un curso de agua. Esguerramiento por orificios del tercer género. Leyes experimentales de las caídas superficiales. Derrame de los líquidos bajo una carga variable. Aplicaciones de la mecánica a las corrientes líquidas. Nociones sobre la resistencia de las paredes. Pérdidas de fuerza viva o de trabajo motor ocasionadas por las variaciones bruscas de sección. Velocidad de un fluido en la extremidad de un tubo conductor alimentado por un depósito. Observaciones relativas a los gases. Presiones en un punto cualquiera de un vaso o tubo. Altura a la que puede el agua elevarse en la extremidad de una cañería. Procedimiento para obtener la velocidad media en una sección cualquiera de una corriente descubierta. Expresión general de la potencia dinámica. Aforamiento de los cursos de agua. Derrame de gases y vapores. Trabajo motor gastado. Trabajo utilizado. Ecuación general de las ruedas hidráulicas. Investigación práctica del máximo de efecto útil. Ruedas hidráulicas de eje horizontal. Ruedas de paletas. Ruedas de Poncelet. Ruedas de paletas movidas por un lado. Id de cajones. Turbina de Fourneyron. Turbina fontaine. Turbina Jonval y Turbinas Girard. Ruedas de reacción, su definición y teoría experimental. Bases para el establecimiento de las ruedas de reacción. Hidropneumatisacion de las ruedas hidráulicas. Máquinas de vapor Nomenclatura de las partes principales de una máquina de vapor, progreso de ella y examen de los diversos modos de transformación del movimiento del émbolo. Máquinas de rotación inmediatas. Expansión, sus ventajas y progresos. Reglamentación de los tiradores. Operaciones relativas a la reglamentación de los tiradores y aplicaciones de las nociones relativas a ella. Marcha que hay que seguir para estudiar la reglamentación de una máquina en proyecto y de una ya existente. Generadores del vapor de agua. Los dos estados del vapor en las máquinas y valuación de la presión del vapor al estado de saturación y de expansión. Número de calorías necesarias para la producción del vapor de agua al estado de saturación. Densidades del vapor y cantidad de agua a una temperatura dada, necesaria para la condensación de un peso determinado de vapor. Cálculo de los efectos dinámicos. Comparación de los diversos sistemas de máquinas de vapor en uso. Límites de la potencia de una máquina de vapor. Cantidades prácticas de trabajo. Disposiciones principales y propiedades de los órganos distribuidores y reguladores. Organos distribuidores. Máquinas motrices de hidrógeno. Aparatos reguladores.

CURSO DE MECÁNICA ANALÍTICA Y APLICADA (1884)²

La mecánica analítica, que abraza únicamente el estudio general de las leyes que rigen el movimiento y el equilibrio de los cuerpos haciendo abstracción de sus causas, puede dividirse en cinemática (que establece las relaciones que pueden existir entre la geometría analítica y la mecánica general), en estática (la cual extiende estas relaciones al estado de equilibrio en los cuerpos), y en dinámica (que hace el análisis del movimiento de un cuerpo o de un sistema invariable, sin atender a la constitución física de ellos).

El estudio de esta importante parte de la mecánica general se ejecutará del modo siguiente:

1a. Cinemática. Objeto de la mecánica en general. Reposo y movimiento. Movimiento de un punto 1o. independiente de la trayectoria, 2do. en la trayectoria. Movimientos simultáneos, su teoría. Movimientos de traslación, de rotación, etc. Aceleraciones en los movimientos simultáneos. Aceleración en el movimiento curvilíneo. Aplicación al movimiento de los planetas.

Movimiento del punto relativamente a un sistema móvil. Composición y descomposición de las velocidades de la rotaciones. Movimientos de un cuerpo o sistema solar. Descomposición del movimiento. Teorema fundamental de d'Alembert.

Movimiento de un sólido paralelamente a un plano fijo. Movimiento de cuerpos sujetos a quedar en contacto. Composición de los movimientos de un cuerpo sólido. Traslación y su composición. Rotaciones.

Teoría de los mecanismos. Generalidades sobre las máquinas. Transformaciones de movimiento. Clasificaciones según el sentido de la transmisión y de la relación entre las velocidades. Aparatos propios para conocer experimentalmente la ley de un movimiento.

2a. Estática. Principios fundamentales. Equilibrio de un punto material, de un sistema de puntos, de un cuerpo sólido. Trabajo de las fuerzas. Resistencias pasivas. Cuerdas y Correas. Aparatos para medir el trabajo de una fuerza.

3a. Dinámica. Movimiento del punto material. Movimiento de un sistema invariable. Principio de d'Alembert. Movimiento del centro de gravedad de un sistema. Conservación de este movimiento. Teoremas. Conservación de las áreas. Aplicaciones. Fuerzas vivas. Teorema. Choque de los cuerpos. Teoría de los momentos de inercia.

La mecánica aplicada a las máquinas comprenderá lo siguiente:

Máquinas en general. Sus ventajas. Máquinas simples. Trabajo en las máquinas y en los motores animados. Condiciones de establecimiento de una máquina. Motores hidráulicos. Ruedas de aspas planas, curvas, de arcezas. Diferentes sistemas de hacer obrar el agua en ellas. Trabajo útil. Rendimientos. Ruedas de eje vertical o turbinas. Turbina Fourneyron, Pouval, Poncelet. Efectos teórico y prácticos. Máximo de estos.

Máquinas para elevar el agua. Diferentes clases de bombas.

² El profesor asignado el 26 de octubre de 1893 fue Francisco Rodríguez Rey. Ver CESU, ENI, Académico. Planes y programa de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 1, fo. 11-27.

Motores de vapor. Nomenclatura de las diversas piezas de una máquina de vapor. Expansión en las máquinas. Sus ventajas. Reglamentación de los distribuidores del vapor, etc. Efectos dinámicos. Trabajos prácticos. Disposiciones principales. Propiedades de los órganos distribuidores y reguladores de estas máquinas, etc. Máquinas operadoras.

Libros de texto: el de Ed. Bour para la parte analítica, y el de A. Faffé para la sección aplicada. Se proponía la adquisición de modelos de máquinas, de órganos de las mismas y de aparatos de experimentación para mejorar la formación de los alumnos.

MECÁNICA ANALÍTICA Y APLICADA (1885)³

Preliminares, materia, inercia, movimiento, fuerza, divisiones de la mecánica.

Estática pura

Teoría general de la composición y descomposición de las fuerzas, fuerzas concurrentes, fuerzas paralelas, centro de las fuerzas paralelas, teoría del centro de gravedad, su analogía con el centro de las fuerzas paralelas, su determinación analítica. Composición de las fuerzas en número y en dirección cualquiera aplicados en diferentes puntos de un sólido. Teorema de Varignon, teoría de los pares, aplicaciones, reducción de un sistema cualquiera de fuerzas a una sola fuerza y un par. Eje central de las fuerzas. Teoría general de los momentos, condiciones geométricas del equilibrio de un sistema cualquiera de fuerzas aplicadas a un sólido libre y sujeto a determinadas uniones o articulaciones. Determinación de la resultante de traslación y del par resultante de un sistema de fuerzas aplicada a un sólido. Establecimiento de las 6 ecuaciones del equilibrio. Teoría del trabajo de las fuerzas, diversas expresiones del trabajo, trabajo de las acciones mutuas que se ejercen entre los diferentes puntos de un sistema material cualquiera. Teorema general del trabajo virtual, condiciones del equilibrio deducidas del principio del trabajo virtual. Extensión del principio del trabajo virtual considerando en un sistema material cualquiera las fuerzas exteriores y las interiores.

Estática aplicada

Condiciones generales sobre las máquinas. Máquinas simples: palanca, polea fija, torno, cabrestante, polea móvil, combinaciones, molles o troculas, tornillo, cuña, plano inclinado. Máquinas compuestas. Prensa de cuña, torno con engranes y cabrestante, grúas, máquinas para levantar los materiales en las construcciones.

Cinemática pura

Preliminares. Cinemática de un punto material, tiempo, espacio, trayectoria, medios de representar el movimiento de un punto material, 1o. por las ecuaciones del movimiento, 2o. por curvas representativas, 3o. por tablas numéricas, divisiones. 1a. parte. Estudio del movimiento independiente de la trayectoria. 2a parte. Estudio del movimiento con respecto a la trayectoria. Primera parte, movimiento uniforme, velocidad, ecuación general del

³ El curso constaba de 100 lecciones. Por mes se impartían entre 12 o 13. El autor del libro de texto que se llevaba era el de Ch. Viry. Ver CESU, ENI, Dirección, Planes y programas de estudio, caja 19, exp. 10, fo. 166-239.

movimiento, representación gráfica, aplicaciones. Movimiento variado, velocidad y aceleración, curvas de los espacios, de las velocidades, de las aceleraciones, caso particular de la caída de los cuerpos, aparato de Atwood y Morin. Segunda parte, movimientos simultáneos de un punto material, movimiento relativo, composición y descomposición de los movimientos de un punto material. Composición de dos movimientos rectilíneos, paralelogramos de las velocidades. Composición de dos movimientos cualesquiera. Composición de varios movimientos, polígono de las velocidades, aplicaciones: el método de Roverbal para trazar tangentes a las curvas, 2o movimiento parabólico de los proyectiles, amplitud del tiro, parábola de seguridad.

Cinemática pura y aplicada de los sistemas materiales. Preliminares, diversos movimientos de un sólido invariable, teoría general de los mecanismos fundada en el principio de Charles y sus consecuencias, principio de Roberto Willis. Primera parte, transmisiones entre dos cuerpos por un intermedio rígido, movimiento de una recta sujeta a moverse en un plano y sujeta a apoyarse constantemente por sus extremos sobre dos curvas trazadas en el plano, aplicaciones, teoría general de las máquinas de vapor, paralelogramos de Rouleux y de Watt. Segunda parte, teoría de las transmisiones por medio de un órgano flexible, poleas y cuerdas, cadenas, cambio de velocidad por medio de poleas, lasos, etc. Tercera parte, transmisión directa entre dos cuerpos, aplicaciones, levas, excéntricas. Cuarta parte, trazo de tangentes a las curvas, ejemplos. Quinta parte, transmisión directa entre dos ejes paralelos con velocidad constante, teoría de los engranes. Movimiento general de un cuerpo sólido, teoría general de la composición y descomposición del movimiento de un cuerpo sólido, traslaciones, rotaciones.

Dinámica pura

Introducción, velocidad y aceleración tangencial, aceleración total, composición y descomposición de las aceleraciones, radio de curvatura de algunas curvas, duración de las oscilaciones del péndulo simple, del cicloidal, teorema de Galileo. Dinámica pura. 1ra parte, dinámica pura de un punto material, principios de la dinámica, teoremas generales, cantidades de movimiento, momentos, teorema del trabajo o de las potencias vivas, movimiento de un punto sujeto a quedar sobre una curva dada, rotación de la tierra, etc., principio de d'Alembert, aplicaciones. 2da parte, dinámica pura de sistemas materiales, extensión del principio de d'Alembert, momentos de inercia, péndulo compuesto. Teorema del centro de gravedad, de las potencias vivas, choque de los cuerpos, teorema de Carnot, teorema de Duhamil, choque de cuerpos perfectamente elásticos, duración e intensidad del choque, péndulo balístico.

Dinámica aplicada

1a parte. Introducción a la dinámica de las máquinas, consideraciones generales sobre las máquinas, teorema de la transmisión del trabajo en las máquinas, discusión de la ecuación que resulta del teorema, regulador y moderador. De las masas en movimiento, volantes y contrapesos. Moderadores, su teoría, teoría del rozamiento de los sólidos. rozamiento por rodamiento, rozamiento mixto, rozamiento en las cuerdas, aplicaciones útiles de todas las resistencias estudiadas. Potencias motrices, motores hidráulicos, motores de vapor.

MECÁNICA (1886)⁴

El profesor fue Eduardo Garay, quien utilizaba como libro de texto *Cours de Mécanique et Machines* de Ed. Bour. El programa consistía en consultar el primer tomo desde la página 1 hasta la 50, de la 61 a la 107, de la 133 a la 152, de la 173 a la 238, de la 279 hasta concluir el tomo, comprendiendo la cinemática pura y la aplicación a los órganos de las máquinas. Todo el segundo tomo que comprendía la estática pura y el estudio de las máquinas en el caso del movimiento uniforme. Del tercer tomo, de la página 1 a la 44, de la 62 a la 80, 87-107, 115-127, 231-247, 256-273. Por último, se estudiaba la dinámica pura y su aplicación al movimiento de máquinas.

MECÁNICA INDUSTRIAL (1886)⁵

1ro. Un estudio pormenorizado de los aparatos receptores de las fuerzas naturales, conocidos generalmente con el nombre de motores, que seguramente se habían estudiado de una manera general en el curso anterior.

2do. Los cambios de movimiento con todos sus detalles y modificaciones, por ser éstos los elementos esenciales de los mecanismos.

3ro. Descripción, fundamento y construcción de las máquinas y aparatos que se emplean en la industria, estudiando perfectamente los que se aplican a las artes de construcción. Laboreo de minas. Metalurgia y fabricación de productos químicos de aplicación industrial y de una manera menos preferente las que se aplican a la industria fabril. Se propuso el establecimiento de un pequeño taller mecánico para familiarizar a los estudiantes en el manejo de aparatos y para darles ideas exactas y precisas sobre el modo de construir muchas piezas.

Hasta esta fecha, el profesor, Miguel Bustamante, no había encontrado un libro de texto que se adecuara al programa, porque insistía en que "las obras de este género que han llegado a sus manos no lo comprenden todo, y son, o demasiado superficiales para que su estudio presente alguna utilidad o de una extensión y de un costo, que ni bastaría el tiempo del curso para estudiarlas, ni estarían al alcance de la mayor parte de los estudiantes".

MECÁNICA APLICADA E INDUSTRIAL (1886)⁶

1o. Visitar y estudiar los principales talleres de construcción y separación de máquinas que se encuentran en el Distrito como: los talleres de construcción de armas en la Ciudadela, fundición de cañones en el Molino del Rey, talleres de separación del material

⁴ CESU, ENI, Libro de programas para los diversos cursos de la Escuela Nacional de Ingenieros.

⁵ Miguel Bustamante era el profesor de este curso. *Ibidem*.

⁶ El catedrático era Miguel Bustamante. CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudios, Prácticas de campo, caja 22, exp. 1, fo. 1-8.

rodante del ferrocarril central; y fuera del Distrito, los talleres de construcción y reparación de Orizaba. El estudio de estos establecimientos comprenderá el dibujo y descripción de los principales aparatos que contengan acompañados del cálculo de la fuerza producida por los motores y la consumida por las máquinas y herramientas en producir las obras a que están destinadas.

2o. Visitar las fábricas u otros establecimientos industriales en que se aplican las máquinas a la producción en grande de objetos útiles como, fábrica de pólvora de Belén, molino de harina de Cuevas, fábrica de ladrillo en la Teja, máquina del alumbrado eléctrico, fábrica de tejidos de algodón y lana, fábrica de estampados, carpinterías mecánicas, casa de moneda, fundición y tornería de bronce. Se hará este estudio en los mismos términos del programa anterior.

3o. En Pachuca y en el Mineral del Monte, estudiar las diversas máquinas y aparatos que allí existen aplicados al desagüe, transporte y extracción de los minerales de las minas y a la preparación y reducción de los mismos en las haciendas de beneficio.

4o. Estudiar en Veracruz los aparatos hidráulicos que tiene establecidos la compañía del ferrocarril para el servicio del Muelle Inglés, y también los de propulsión marítima en los vapores que se encuentren en el puerto.

5o. Terminada la práctica el profesor presentará una memoria en que reunirá los resultados obtenidos en ella, haciendo todas las abreviaciones que crea conveniente y discutiendo las ventajas o inconvenientes que resultan en ella, del empleo de los aparatos que tienen en uso indicando cuales serían los más modernos y apropiados que deberían sustituirles con las ventajas que de su uso resultarían y dando dibujos de esos aparatos.

MECÁNICA ANALÍTICA Y APLICADA (1891)⁷

Primera parte

Nociones geométricas. Sistemas de líneas. Definiciones. Equipotencias. Suma y diferencia geométricas. Línea media de un sistema. Resultante. Producto geométrico.

Momentos de líneas. Momento respecto de un punto. Momento resultante de un sistema. Par de líneas. Eje de un par. Momento resultante de un sistema cuya suma geométrica es nula. Relación entre los momentos de una línea o de un sistema respecto a diversos puntos del espacio. Momentos respecto de un eje. Momento de la resultante de un sistema. Momento de una línea respecto de tres ejes rectangulares. Momento de una línea respecto de un eje cualquiera trazado por el origen. Momento de un sistema de líneas respecto a un eje. Momento medio de un sistema de líneas.

Equivalencia y composición de los sistemas de líneas. Sistemas equivalentes. Ejemplos. Composición de los sistemas de líneas. Caso general. Eje central de los momentos. Composición de las líneas situadas en un plano. Polígono funicular.

⁷ El profesor era Francisco Rodríguez Rey. El libro de texto que utilizaba era *Mécanique Générale* de A. Flamant. CESU, ENI, Dirección, informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 153-260.

Aplicaciones. Principales propiedades del polígono funicular. Polígono funicular de las fuerzas paralelas.

Centros de gravedad. Momentos de inercia. Centro de las distancias medias de un sistema de puntos. Centro de las líneas paralelas o centro de gravedad. Centro de gravedad de un sistema de dos grupos de puntos. Fórmulas simplificadas para determinar el centro de gravedad. El centro de gravedad se encuentra por su proyección. Fórmulas para los espacios heterogéneos.

Ejemplos de determinación del centro de gravedad. Teorema de Guldin.

Momentos de inercia de un sistema de puntos. Radio de giración. Momentos de inercia de los volúmenes, superficies y líneas. Momentos de inercia respecto a ejes paralelos, concurrentes. Elipsoide de inercia. Ejes principales de inercia. Determinación del momento de inercia de un sistema. Investigación del momento de inercia de los volúmenes.

Segunda parte

Cinemática. Estudio general del movimiento de un punto. De la velocidad.

Objeto de la cinemática. Movimiento de un punto. Trayectoria. Velocidad. Representación gráfica de un movimiento. Movimiento uniforme, variado, uniformemente variado, periódico, periódicamente uniforme. Representación geométrica de la velocidad. Definición del movimiento por sus proyecciones. Movimientos simultáneos. Movimiento plano referido a coordenadas polares. Método de Roverbal para trazar tangentes a las curvas. Relación entre las velocidades de todos los puntos de una recta.

De la aceleración. Definición. Aceleración tangencial, normal, total. Aceleración en los movimientos proyectados y simultáneos. Uso de la aceleración para determinar el radio de curvatura. Ejemplo de la aplicación de las propiedades del movimiento proyectado. Caso en que la aceleración pasa constantemente por un punto fijo. Aplicación del movimiento de los planetas alrededor del Sol. Otra definición de la aceleración.

Determinación del movimiento de un punto. Leyes generales. Problema general de la determinación del movimiento de un punto. Primer teorema general. Ejemplo. Segundo y tercer teoremas generales. Teorema de las áreas. Cuarto teorema general. Aplicación del movimiento parabólico de los cuerpos pesados. Caso general de un movimiento rectilíneo. Caso de una atracción central. Aplicación al movimiento de los cuerpos celestes.

Movimiento de un punto sujeto a ciertas condiciones. Definición de esas condiciones. Punto sujeto a moverse sobre una curva dada o sobre una superficie también dada. Aplicaciones al péndulo simple y al cónico. Péndulo cicloidal. Movimiento de un punto pesado sobre una recta inclinada. Branquistócrona de un punto pesado.

Sistemas invariables en movimiento. Movimientos instantáneos o elementales. Definición de los sistemas invariables. Movimientos de traslación y rotación. Movimiento elemental de un figura plana en su plano. Centro instantáneo de rotación. Empleo del centro instantáneo de rotación para el trazo de tangentes a las curvas. Movimiento de un sistema invariable paralelamente a un plano fijo. Movimiento de una figura esférica sobre su esfera. Movimiento de un sistema invariable que tiene un eje fijo. Movimiento elemental más general de un sistema invariable. Eje instantáneo de rotación y deslizamiento.

Movimientos continuos. Deslizamiento de dos curvas una sobre otra. Rodamiento de los mismos. Problema de Savary. Aplicación a la cicloide y a la epicloide. Deslizamiento y rodamiento de una superficie sobre otra. Movimiento continuo de una figura plana en su plano. Movimiento continuo de un sistema invariable.

Movimientos simultáneos y relativos

De la velocidad. Movimientos absoluto, relativo y de arrastre. Composición y descomposición de las velocidades. Composición de los movimientos simultáneos de los sistemas invariantes. Movimientos de rotación alrededor de ejes concurrentes. Par de rotaciones. Composición de un número cualquiera de translaciones y rotaciones. Expresiones generales de las proyecciones sobre tres ejes, de la velocidad de un punto que pertenece a un sistema invariable. Expresión de la velocidad relativa de un punto.

De la aceleración. Composición de las aceleraciones. Representación y expresión de la aceleración complementaria. Aceleración en el movimiento relativo. Aceleraciones aparentes. Aceleración de un punto referido a coordenadas polares en un plano. Reposo relativo de un cuerpo pesado en la superficie de la tierra. Desviación al Este de la caída libre de un cuerpo pesado.

Leyes generales del movimiento de los sistemas. Sistemas cualesquiera. Generalidades. Velocidad y aceleración del centro de gravedad. Velocidades y desplazamientos traslatorios y no traslatorios. Aceleraciones recíprocas. Componentes de la aceleración media. Relación entre las velocidades y aceleraciones. Teoremas generales. Principio de la conservación de las áreas. Sistema de ligas. Ecuaciones de las ligas. Aceleración de las ligas. Asimilación a un sistema libre.

Sistemas invariantes. Traslación. Rotación alrededor de un eje. Expresión de las proyecciones y de los momentos de la velocidad, y aceleración de un punto cualquiera. Suma de las proyecciones y de los momentos de las aceleraciones de todos los puntos. Discusión. Ley del movimiento. Ejes permanentes, naturales de rotación. Sistemas en los que dos puntos deben quedar fijos. Condiciones para que esos puntos queden fijos. Condiciones para que las aceleraciones de todos los puntos tengan una resultante única. Centro de percusión. Péndulo compuesto. Rotación alrededor de un punto fijo. Proyecciones sobre tres ejes móviles de la aceleración de un punto. Ecuaciones de Euler. Definición de la posición de los ejes móviles.

Tercera parte

Mecánica

De las leyes físicas del movimiento. Condiciones para producir el movimiento. Constitución de los cuerpos naturales. Punto material. Ley de continuidad. Circunstancias en las que se produce el movimiento. Las aceleraciones producidas en circunstancias dadas son independientes de las velocidades anteriores. Las aceleraciones sólo dependen de las posiciones relativas de los puntos. Comparación de las velocidades ganadas por cuerpos puestos en relaciones mutuas. Definición de masa. Ley fundamental de la mecánica.

De las fuerzas y de la inercia. Definiciones. Fuerza, cantidad de movimiento, fuerza viva, impulsión, trabajo. Observación general sobre estas denominaciones. Movimiento del

centro de gravedad de un cuerpo. Peso de un cuerpo. Medida de las masas. Medida de las fuerzas. Unidad de fuerza y masa. Inercia. Fuerza de inercia. Principio de d'Alembert. Fuerza centrífuga.

Teoremas generales de la mecánica. Primer teorema general para un punto material. Segundo teorema general. Tercer teorema general. Teorema de las áreas. Cuarto teorema general. Introducción de la masa en las fórmulas relativas a los sistemas. Teorema del movimiento del centro de gravedad. Teorema de las cantidades de movimiento proyectadas sobre un eje. Teorema de los momentos de las cantidades de movimiento. Principio de la conservación de las áreas. Ejemplos familiares de la aplicación de estos teoremas. Movimiento del trompo. Efecto de una percusión sobre un cuerpo sólido. División en dos partes de la fuerza viva de un sistema. Teorema de las fuerzas vivas y del trabajo. Trabajo de las fuerzas interiores.

De las fuerzas vivas y del trabajo. Del trabajo en general. Consecuencias del teorema de las fuerzas vivas aplicadas a un punto material. Propiedades de las superficies de nivel. Posiciones de equilibrio de un punto móvil. Potencial de una fuerza. Aplicaciones a la pesantez, a una fuerza central. Caso de una fuerza atractiva inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Potencial de atracción newtoniana. Energías, potencial actual y total. Aplicación a un ejemplo. Aplicación a un sistema en que sólo hay fuerzas interiores. Función potencial. Principio de la conservación de la energía.

Valuación de las diversas clases de trabajo. Cálculo de los términos de la ecuación del trabajo. Trabajo del rozamiento. Resistencia al rodamiento. Rigidez de las cuerdas. Choque de los cuerpos sólidos. Fuerza viva y trabajo en movimiento de rotación. Trabajo en las máquinas. Rendimiento de una máquina. Utilidad de los volantes. Trabajo de las fuerzas de ligas.

Del equilibrio y de las máquinas simples

Del equilibrio. Equilibrio de un punto material libre. Equilibrio de un punto sujeto a ligas. Equilibrio de un sistema material libre. Equilibrio de un sistema de ligas. Condiciones de equilibrio entre las fuerzas exteriores. Caso en que están satisfechas y bastan. Fuerzas estáticamente equivalentes. Ejemplos de sistemas equivalentes. Equilibrio de un hilo. Tensión. Hilo sometido a varias fuerzas aisladas. Hilo sometido a fuerzas continuas. Aplicaciones. Parábola. Catenaria. Condiciones de equilibrio de un sistema pesado. Aplicaciones. Balanza. Puentes levadizos. Máquinas simples. Generalidades. Palanca. Polea fija. Rozamiento de una cuerda sobre el cilindro. Polea móvil. Tróculas. Torno. Plano inclinado. Cuña isósceles. Tornillo. Rodillos de transporte.

Mecánica aplicada

Esta sección se impartía con el libro de texto de Foustegueras y Hergot y con los apuntes del profesor. Aplicación de los principios de la estática a las máquinas simples. Palanca, sus condiciones de equilibrio, presión sobre el punto de apoyo. Diferentes especies de palanca. Palancas múltiples. Balanzas. Condiciones de una buena balanza. Método de las dobles pesadas. Romana. Su graduación. Básculas. Condiciones de equilibrio. Polea fija y móvil. Equilibrio en ambas. Presión que sube el eje de una polea. Sistema de poleas móviles. Tróculas. Poleas diferenciales. Torno, sus condiciones de equilibrio. Presión sobre

los muñones. Torno de los canteros. Cabrestante. Torno diferencial. Ruedas de engrane. Cric. Cabria. Guas. Condiciones de equilibrio de estas diversas especies de máquinas. Plano inclinado. Condiciones de equilibrio. Presión que sufre un plano inclinado. Usos del plano inclinado. Planos inclinados automotores. Aplicaciones. Cuña, sus condiciones de equilibrio y aplicaciones. Tornillos.

Transformación de movimientos. Transmisión por bandas y poleas. Ejes paralelos a gran distancia. Los ejes giran en el mismo sentido. Determinación de la longitud de la banda. Los ejes giran en sentido contrario. Longitud de banda. Tensores. Ancho de las correas. Reglas para establecer una transmisión de movimiento por medio de bandas. Forma de las poleas. Poleas locas. Poleas escalonadas. Caso de ejes no situados en el mismo plano. Caso de ejes situados en planos perpendiculares.

Teoría y trazo de los engranes

Ejes paralelos situados a corta distancia. Cilindros de fricción. Engranes planos. Definiciones. Problema general de los engranes. Paso y juego de los engranes. Espesor y ancho de los dientes. Cálculo del número de dientes. Curvas de perfil de los dientes. Trazo de los engranes planos. Engrane de linterna. Engrane de flancos. Achaflanamiento de los dientes. Límite de los dientes. Inconvenientes del engrane de los francos. Engranes epicicloides. Engranes de devolutas. Límites de los dientes. Inconvenientes de estos engranes. Trazo práctico de los engranes. Trazo de los dientes por dos arcos de círculo. Rueda de muescas. Engranes interiores. Mosca de Lahire. Ruedas parásitas. Equipos de engrane. Casos particulares de los engranes planos, cremallera de flancos, rectos, curvos y oblicuos.

Ejes concurrentes. Conos de fricción. Engranes cónicos. Trazo práctico de los engranes cónicos. Ejes dirigidos de un modo cualquiera. Caso particular. Tornillo sin fin. Principio y trazo práctico. Tornillo tangente. Engrane helicoidal. Juntas. Junta de Oldham. Relación de las velocidades angulares. Junta universal. Junta doble de Hooke. Bielas y manzuelas. Relación de las velocidades. Representación gráfica de la ley de los espacios y de la ley de las velocidades. Manzuelas dobles, triples. Manzuela y varilla guiada por una corredera. Relación de las velocidades. Excéntricas. Sus distintas especies y ley del movimiento. Levas. Sus distintas especies y ley del movimiento. Paralelogramos articulados. Paralelogramos de Watt. Principio en que se funda. Disposición del paralelogramo. Establecimiento. Paralelogramo para máquinas de los buques. Rombo de Peaucellier. Principio en que se funda. Primero y segundo caso, y su trazo gráfico. Trinquetes y nudos. Estudio de los diferentes sistemas empleados. Guías de movimiento. Guías del movimiento rectilíneo. Guías del movimiento circular.

Resistencias pasivas: 1o. Resistencias de los cuerpos rígidos. Rozamiento. Sus leyes. Rozamiento de deslizamiento. Rozamiento al partir. Rozamiento durante el movimiento. Angulo del rozamiento. Coeficiente de rozamiento. Rozamiento de los muñones. Rozamiento contra los tejuelos. Rozamiento de los engranes. Rozamiento de rodamiento. Sus leyes.

2o. Resistencias de las cuerdas y correas. Rozamientos de cuerdas y correas. Rigidez de las cuerdas. Aplicaciones de las resistencias pasivas. Diferentes especies de frenos. Del

trabajo en las máquinas simples, teniendo en cuenta el rozamiento y rigidez de las cuerdas. De los motores. Consideraciones generales. Freno de Prony. Dinamómetro de Morin y de tracción. Motores animados. Consideraciones sobre los motores animados. Empleo de los animales como motores. Malacates. Transporte horizontal de los fardos. Empleo del aire como motor. Navíos de vela. Molinos de viento. Anemómetros. Ventiladores.

Del agua como motor. Receptores hidráulicos. Consideraciones generales. Creación de una caída de agua. Determinación del trabajo de una caída de agua, o en una corriente. Ecuación general del trabajo en los receptores hidráulicos. Compuertas. Ruedas hidráulicas. Ruedas de paletas planas movidas por debajo. Fórmula del trabajo. Efecto útil. Efecto máximo. Efecto práctico. Caso en que las aspas tienen un juego considerable en el canal. Ruedas de aspas curvas o de Poncelet. Ecuación del trabajo. Efecto útil. Efecto teórico y práctico. Ancho de las coronas. Trazo de las aspas. Trazo de la parte del canal que queda bajo la rueda. Ruedas de costado. Rueda Sagebien. Ruedas de cajones o artesas que reciben el agua por el vértice superior. Fórmula del trabajo. Rendimiento teórico y práctico. Determinación de la velocidad relativa del agua. Trazo del perfil de los cajones. Forma de la superficie libre del líquido en los cajones. Ruedas de eje vertical. Rueda de cuchara. Rueda de cuba.

Turbinas. Consideraciones generales Turbina Fourneyron. Su teoría. Trazo de las aspas y directrices. Turbina Fontaine. Sonval y Fossey. Su teoría. Trazo de las directrices en las turbinas Fossey. Turbinas Girard y J. Lefel. Máquina de columna de agua. Máquinas para elevar el agua. Cubos. Rosarios. Norias. Ruedas de cajones. Tornillo de Arquímedes. Ariete. Bombas, émbolos y válvulas. Bombas aspirantes. Su trabajo. Bombas aspirantes impelentes. Su trabajo teórico. Trabajo efectivo. Bombas centrífugas. Bombas rotatorias de un eje. Idem de dos ejes. Bomba Grundl. Aplicaciones de la presión hidráulica. Acumuladores y ascensores. Motores de vapor. Su historia. Clasificación de las máquinas de vapor. Fórmula general del trabajo en un máquina de vapor. Aplicación a los diferentes sistemas de máquinas. Trabajo debido a un kilogramo de combustibles. Trabajo debido a la evaporación de un kilogramo de agua. Comparación entre los diferentes sistemas de máquinas. Fórmulas prácticas.

Generadores de vapor. Aparatos de calefacción. Parrilla. Superficie de las parrillas. Superficie de calentamiento. Volumen de agua en la caldera. Volumen de vapor en la caldera. Estudio de diversos tipos de calderas. Chimeneas. Aparatos de seguridad en las máquinas de vapor. Manómetros. Indicadores de nivel. Flotadores de silbato y magnético. Válvulas de seguridad, etc. Organos de las máquinas de vapor. Cilindro. Émbolos. Purgas. Distribución del vapor. Concha. Angulo de montadura. Adelanto al escape. Adelanto a la admisión. Encubrimientos exterior e interior. Sistemas de expansión. Expansión fija, variable y de Mayer. Facot. Otros sistemas perfeccionados de expansión. Distribución en las máquinas de dos cilindros (Woolf y Compound). Arreglo de los distribuidores. Organos para el cambio de marcha. Corredera Stephenson. Goock de Allen. Cambio de marcha de tornillo. Moderadores o reguladores de velocidad. Moderador de Watt, Farcot, Andrade.

Volante. Teoría del Volante. Cantidad de trabajo que almacena un volante. Manezuela de simple y doble efecto. Aparatos de alimentación. Bombas de alimentación. Inyectores Giffard. Su teoría. Otros tipos de inyectores. Aparatos de condensación.

Condensación por inyección. Condensación por superficie. Sistemas diversos de máquinas de vapor: 1o. Máquinas fijas verticales. Watt, Woolf. 2o. Máquinas horizontales, 3o. Máquinas semifijas, 4o. Máquinas oscilantes, 5o. Máquinas de rotación, 6o. Locomóviles. Locomotoras. Diferentes partes que componen una locomotora. Diferentes clases de locomotoras. Marcha de las locomotoras. Frenos para locomotoras y vagones.

Máquinas marinas. Propulsores de los navíos de vapor. Aplicación del vapor directo para elevar los líquidos. Pulsómetros y eyectores. Máquinas de aire caliente y de gas. Principio de las máquinas de aire caliente. Máquinas de Ericson, Laubereau y Ridder. Inconvenientes de estas máquinas. Máquinas de gas. Principio de los gasómetros. Motor de Belou, de Hock. Principios de las máquinas de gas. Tipos diversos. Suscintas descripciones de motores eléctricos.

MECÁNICA INDUSTRIAL (1891)⁸

1. Estudio pormenorizado de los aparatos receptores de las fuerzas naturales, conocidos generalmente con el nombre de motoras.
2. Los cambios de movimiento con todos sus detalles y modificaciones, por ser los elementos esenciales de los mecanismos.
3. Descripción, fundamento y construcción de las máquinas y aparatos que se emplean en la industria, estudiando de preferencia los que se aplican a las artes de construcción, labores de minas, metalurgia y fabricación de productos químicos, de aplicación industrial, y de una manera menos preferente las que se aplican a la industria fabril.

Para este curso el profesor trató de hacer su libro de texto.

CURSO DE MECÁNICA ANALÍTICA (1899)⁹

Fue exactamente igual al curso de 1891.

CURSO DE MECÁNICA APLICADA (1899)¹⁰

- 1o. Estudio de las máquinas simples, sus condiciones de equilibrio, sus aplicaciones a las artes y a la industria y como órganos de los mecanismos.
- 2o. Rozamiento y resistencia nocivas.

⁸ El profesor era Miguel Bustamante. Ver CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 153-260.

⁹ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 20, fo. 531-534.

¹⁰ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 20, fo. 576.

- 3o. Aparatos empleados para cambiar o transformar el movimiento.
- 4o. Teoría de los engranes y trazo de dientes.
- 5o. Medios de aprovechar las fuerzas naturales y clasificación
- 6o. Receptores destinados a aprovechar la fuerza del viento.
- 7o. Id. para aprovechar la fuerza del agua.
- 8o. Id. para aprovechar la fuerza mecánica del calor incluyendo las máquinas de vapor, las de aire caliente o de cualquiera otro gas.

ESTÁTICA GRÁFICA (1891)¹¹

Sección primera

Nociones relativas al cálculo, a la estática y a la elasticidad de los cuerpos. Nociones de cálculo gráfico. Representación gráfica de las expresiones analíticas. Nociones relativas a la estática ordinaria y a la elasticidad de los cuerpos. Composición y equilibrio de las fuerzas concurrentes.

Sección segunda

Principios de estática gráfica. El polígono funicular considerado como medio de composición de las fuerzas en un plano. Condiciones de equilibrio de los cuerpos naturales. Investigación gráfica de las reacciones de los apoyos. Investigación sobre las fuerzas elásticas. El polígono de Varignon, las figuras recíprocas y el método de Culmann. Teoría y construcción de los momentos de las fuerzas en un plano. Composición de las fuerzas paralelas en el espacio. Proyecciones y momentos de las fuerzas paralelas en el espacio. Determinación gráfica de los centros, de los centros de gravedad de los cuerpos, superficies y líneas. Aplicación a las vigas rectas y puentes suspendidos llevando cargas fijas. Aplicación a los arcos apoyados con empotramiento o sin él. Estudio puramente estético y solución de primera aproximación. Aplicación a los puentes giratorios y a las grúas rodantes, a las armaduras para techos, a las cimbras de las bóvedas y a otras estructuras diversas. Teoría, construcción y empleo general de los momentos de flexión y de los esfuerzos cortantes. Aplicación a las vigas rectas, a los arcos, a los sistemas rectilíneos, a la determinación gráfica de los momentos de resistencia de las secciones planas. Momentos flexionantes producidos por pesos rodantes sobre una viga de dos apoyos. Esfuerzos cortantes producidos por pesos rodantes sobre una viga de dos apoyos. Caso en que el peso rodante descansa sobre la viga por el intermedio de viguetas o polines transversales. Momentos flexionantes y esfuerzos cortantes en vigas de mas de dos apoyos o continuas. Construcción de los momentos de orden superior de las fuerzas paralelas, cuyos puntos de aplicación están situados en un mismo plano, particularmente los momentos de inercia de las superficies planas. Estudio de las fuerzas paralelas cuyos puntos de aplicación están situados en el mismo plano y cuyas intensidades son proporcionales a las distancias de su punto de aplicación a una recta de este plano. Núcleo central de las superficies planas.

¹¹ El profesor era Roberto Gayol. Ver CESU, ENI, Dirección, informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 153-260.

Sección tercera

Composición de las fuerzas en el espacio y figuras recíprocas que se deriven. Composición de las fuerzas en el espacio. Poliedros recíprocos. Momentos relativos a un eje de fuerzas distribuidas de cualquier manera en el espacio.

Sección cuarta. Resistencia de materiales. Principios de resistencias de materiales relativas a la flexión plana en general. Estudio de las líneas de influencia y de su empleo en el problema general de la investigación de las posiciones peligrosas de un convoy.

Sección quinta. Aplicación de la estática gráfica a los problemas de la resistencia de materiales

Sección sexta. Arcos metálicos

Sección séptima. Acciones ejercidas por fuerzas normales al plano de la fibra media particularmente por el viento sobre armaduras de techos

Sección octava. Puentes suspendidos de tablado rígido

Sección novena. Cuerpos de revolución simétricamente cargados

ESTÁTICA GRÁFICA (1899)¹²

Generalidades.

Composición de fuerzas en un plano.

Determinación gráfica de las fuerzas que obran sobre una viga apoyada en sus dos extremos.

Trabes de celisia.

Teoría del empuje de las tierras. Cálculo de los muros de sostenimiento.

Teoría de las bóvedas cilíndricas.

Aplicaciones del polígono funicular a la deformación.

Viga empotrada, sección constante o variable.

Viga sobre dos apoyos.

Viga continua sobre varios apoyos, disposiciones y cargas diversas.

Momentos sobre los apoyos.

Disposición de las cargas que producen el esfuerzo máximo en un punto dado.

Efecto en el desnivel de los apoyos.

Aplicaciones numéricas.

¹² CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 20, fo. 547.

ESTÁTICA DE LAS CONSTRUCCIONES (1901)¹³

Resistencia de los cuerpos a la flexión. Consideraciones generales. Ecuación de equilibrio y resistencia permanente a la ruptura por flexión de una pieza empotrada en un extremo y sometido en otro a una fuerza perpendicular a su longitud. Flecha. Esfuerzo rasante y cortante. Momentos de inercia de las secciones más usadas en la práctica. Secciones de mayor resistencia. Sólidos de igual resistencia a la flexión. Esfuerzo cortante. Flecha.

Viga uniformemente cargada, empotrada en una de sus extremidades. Flecha. Resistencia permanente al esfuerzo cortante. Curvas de los momentos de los esfuerzos cortantes.

Viga uniformemente cargada apoyada en sus dos extremidades y cargada en un peso en un punto cualquiera. Flecha máxima. Resistencia permanente. Curvas de los momentos y de los esfuerzos cortantes. Peso móvil.

Viga uniformemente cargada, apoyada en sus extremidades y con una sobrecarga uniforme en una parte de su longitud. Resistencia permanente. Curvas de los momentos y de los esfuerzos cortantes. Sobrecarga variando en longitud.

Viga apoyada en sus dos extremidades y cargada en una parte de su longitud de pesos que crecen en progresión aritmética. Resistencia permanente. Esfuerzo cortante. Curvas de los momentos y de los esfuerzos cortantes.

Viga uniformemente cargada, empotrada en sus extremidades y cargada de un peso en un punto cualquiera. Flecha máxima. Resistencia permanente. Esfuerzo cortante.

Curvas de los momentos y de los esfuerzos cortantes.

Viga sobre tres apoyos, carga uniforme de un peso diverso para cada tramo.

Viga sobre más de tres apoyos. Teorema de los tres momentos.

Viga empotrada en una de sus extremidades y sometida en la extremidad libre a una fuerza paralela y otra perpendicular al eje de la viga. Flecha. Resistencia permanente.

Viga uniformemente cargada, apoyada oblicuamente en sus dos extremidades, cargada de un peso en su vértice y un peso en un punto cualquiera. resistencia permanente. Casos particulares.

Piezas curvas.

Investigación de las reacciones de una sección. Resistencia permanente.

Arco de círculo simétrico apoyado en sus dos extremidades y cargado de un peso en su vértice. Depresión del vértice. Resistencia.

Arco de círculo simétrico, cargado uniformemente y apoyado en sus dos extremidades. Depresión del vértice. Resistencia permanente.

¹³ Moles, A., Ruiz de Esparza, J., Hirsh, E., Puebla, M., *op. cit.*, p. 270.

Resistencia de las superficies planas. Forma circular. Resistencia permanente. Cilindros. Fuertes presiones.

Resistencia de la torsión

Ecuación general. Resistencia permanente.

Estabilidad de las construcciones

Muros aislados, apoyados, de cercado, de habitación. Fórmulas prácticas.

Muros sometidos a presiones laterales. Rotación. Resbalamiento. Muros con cimientos.

Muros de sostenimiento. Empuje. Casos particulares. Puntos de aplicación del empuje. Rozamiento. Cálculo del espesor. Fórmulas prácticas.

Contrafuertes. Ataguías. Presas.

Bóvedas. Investigación del empuje. Curvas del empuje. Estabilidad de una bóveda. Espesor en la clave. Espesor de pies derechos y de los estribos.

Armaduras. Puentes

Cálculo de las armaduras. Armadura simple. Armadura con pendolón. Armadura con tornapuntas. Armadura con tirante o falso puente. Sistema Mansard. Bielas oblicuas. Cálculo de los puentes metálicos y de madera. Peso que puede sostener un puente. Nociones complementarias sobre la resistencia de la sección en forma de doble T. Trabe de celosía. Puente con traves rectas de uno o varios tramos. Traves de grandes mallas. Tablero en la parte inferior. Cálculo de los diversos elementos que componen la trabe.

Puentes escondidos.

Primera parte

Procedimientos gráficos. Generalidades. Composición y descomposición de las fuerzas en un plano. Momentos estáticos de las fuerzas.

Determinación de las fuerzas que obran en una viga colocada sobre dos apoyos. - Cargas permanentes inmediatas. Cargas permanentes indirectas. Cargas uniformemente repartidas. Sobrecarga accidental concentrada.

Armadura y traves de celosía. Definiciones. Teoría general. Trazo. Cremona. Diversos tipos de armaduras. Traves para puentes.

Empuje de las tierras. Muros de sostenimiento. Plano de resbalamiento. Valor del empuje y punto de aplicación. Aplicación de la teoría de Rankine. Construcción de la curva de las presiones. Cálculo de los estribos. Cálculo de los apoyos intermedios.

Segunda parte. Trabe continua. Aplicaciones de polígono funicular a la deformación. Sección constante. Sección variable. Apoyos de nivel. Momentos sobre los apoyos. Empotramientos.

Tramos no cargados. Tramos cargados.

Problema general. Diversos modos de carga. Momentos y esfuerzos cortantes.

Desnivel en los apoyos.

Durante el año los alumnos ejecutarán cálculos y montes de aplicación de casos prácticos.

FÍSICA MATEMÁTICA (1886)¹⁴

El curso de física matemática se exponía en lecciones orales y consistía de la teoría mecánica del calor, óptica, magnetismo terrestre, altimetría y calorimetría. Sólo se veía lo que tenía inmediata aplicación para el ingeniero.

FÍSICA MATEMÁTICA (1891)¹⁵

Propiedades generales del movimiento de los sistemas. Fuerza. Trabajo. Masa. Fuerza viva. Movimiento del centro de gravedad. Movimiento de los sistemas. Momentos de las cantidades de movimiento. Teorema de las piezas vivas. Fuerzas interiores. Conservación de la energía. Energía de los movimientos vibratorios. Influencia del movimiento vibratorio sobre la energía potencial.

Termodinámica

Temperatura: Líneas isotérmicas. Superficies isotérmicas. Distribución y equilibrio de temperaturas en cuerpos y sistemas de diversas formas. Cambios de estado. Ciclos y teoremas de Carnot. Temperaturas absolutas. 0 absoluto. Relaciones entre las propiedades físicas de una substancia. Leyes experimentales de las propiedades físicas de los gases. Medidas de las temperaturas absolutas. Coeficientes de dilatación. Calores específicos. Elasticidades. Equivalente mecánica del calor. Calores latentes en los cambios de estado. Hipótesis fundamental acerca de la teoría mecánica de los gases. Explicación de la presión. Transformación del trabajo en calor y recíprocamente. Velocidad de traslación de las moléculas. Energía total de un gas. Aplicaciones de la termodinámica a la física celeste.

Óptica

Reflexión y refracción, sus leyes. Reflexión de la luz en los espejos planos. Campo de un espejo. Desviación del espejo y de la imagen. Espejos angulares y paralelos. Reflexión de la luz en los espejos curvos. Casos particulares de los espejos esféricos elípticos, parabólicos, cicloidalos, etc. Fórmula de Newton para los espejos esféricos. Discusión de las fórmulas, ejes secundarios, magnitud de las imágenes. Cálculo de la aberración longitudinal y transversal. Ecuación general de la generatriz de la superficie cáustica. Ecuación de la superficie. Discusión de dichas ecuaciones.

¹⁴ El profesor fue Miguel Pérez. Ver CESU, ENI. Libro de programas para los diversos cursos de la Escuela Nacional de Ingenieros.

¹⁵ El profesor fue Miguel Pérez. Ver CESU, ENI, Dirección, informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 153-260.

Refracción por las superficies planas indefinidas, índices de refracción, construcción del rayo refractado, reflexión total, líneas focales, cáustica. Refracción por láminas de caras paralelas. Prismas, sus fórmulas, discusión, condiciones de emergencia, desviación, mínima, focos, distancias focales. Refracción por las superficies curvas, superficie esférica, relación entre las magnitudes de la imagen y del objeto. Refracción en los medios limitados por dos superficies curvas.

Lentes: Ecuación general de las lentes. Casos particulares en que no teniéndose en cuenta el espesor de las lentes, las dos caras están en contacto con un mismo medio o en contacto con dos medios diferentes. Casos particulares en que se tiene en cuenta el espesor de las lentes, las dos caras están en contacto con un mismo medio o con medios diferentes. Refracción por un número cualquiera de superficies curvas. Sistemas ópticos. Efectos exteriores de un sistema óptico. Aberraciones de la esfericidad y refrangibilidad en las lentes.

Aplicaciones de todos los principios anteriores a los diversos instrumentos de óptica.

Teoría ondulatoria de la luz

Expresión algebraica de las ondulaciones. Reflexión, refracción. Diferencias de refrangibilidad. Interferencias. Franjas coloridas de interferencia. Interferencia por los prismas. Paso de la luz por aberturas de distintas formas y a través de láminas y lentes. Polarización de la luz. Leyes. Doble refracción. Vibraciones transversales. Vicefracción en los cristales de un eje y de dos ejes. Refracción cónica en los cristales de dos ejes. Polarización por reflexión. Reflexión de la luz polarizada. Polarización circular y elíptica. Franjas coloridas por polarización. Franjas coloridas por los cristales de uno y de dos ejes.

CURSO DE FÍSICA MATEMÁTICA (1899)¹⁶

Introducción

Caracteres diferentes de los métodos experimentales y matemáticos. Observación. Experimentación. Leyes físicas. Teorías matemáticas. 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. Medida 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 sujetos a la acción de la pesantez. Trabajo de las fuerzas moleculares. Fórmula de Laplace. Experiencia y aplicaciones diversas. Figura de equilibrio de los objetos pesados. Ángulo de un líquido y de sólido. Fórmula de un líquido pesado al contacto de una pared. Medida del ángulo de un líquido y un sólido. Tubos capilares. Experiencias de Gay-Lussac, de Ecuaciones de Sains, de Luet y de Seguin. Influencia de la temperatura. Cálculos de Luet. Teoría de Gauss.

¹⁶ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 20, exp. 20, fo. 531-534.

Difusión. Difusión libre. Medida de los coeficientes de difusibilidad. Endósmosis. Equinosmométricos. Diálisis. Difusión de los gases. Escurrimiento de los líquidos. Regla de Torricelli. La vena. Escurrimiento por tubos capilares. Frotamiento interior de los líquidos. Leyes de las presiones y de las velocidades. Medidas del frotamiento. Escurrimiento de los gases a través de los cuerpos porosos. Compresibilidad. Experiencias de Colladon, Regnault, Jamin y Descamps. Elasticidad y sus leyes. Tracción y sus leyes. Equilibrio del paralelepípedo elástico, del tetraedro y de un cuerpo elástico de una forma cualquiera. Flexión y sus leyes. Torsión y sus leyes. Límite de la elasticidad. Tenacidad, dureza, ductibilidad, 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 y 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 , 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 a las temperaturas elevadas. Fórmula 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 Dulont y Petit, de Neuman, de Woestyn. Calor específico de los gases. Experiencias de Laroche y Bérard y de Regnault. Aplicaciones de la ley de Dulong y Petit a los gases.

Termodinámica

Preliminares. Elección de variables. Transformaciones isothermas y adiabáticas. Relaciones entre los coeficientes l y h . Teorema de Teech. Aplicación. Medida de la experiencia de Clement y Desormes. Estudio térmico de los gases perfectos. 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 equipotencial por medio de los gases perfectos. Transformación inversa del calor en trabajo. Extensión del principio de equivalencia a los ciclos abiertos. Expresión analítica del principio de la equivalencia. Experiencias de Edlund. Unidad de calor.

Principio de Carnot. Condiciones de 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. Estudio del

coeficiente h . Modificaciones experimentales. Experiencia de Joule. Termodinámica y teoría mecánica del calor. Estudio de los gases reales. Expresión completa de J en el caso de gases reales. Principio de la conservación de la energía.

Cambios de Estado

Generalidades. Sustancias refractarias. Gases permanentes. Fusión, sulfusión, solidificación, disolución, cristalización. Calor de fusión. Caso general. Estado 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 vapores y peso del litro de aire. Métodos de Gay-Lussac, Hoffmann, Dumas y de 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. Problema de la barra. Ley de Biot y de Lambert. Caso del muro en el régimen variable. Consecuencias de la ecuación de Fourier: la ley del cuadrado de las longitudes, 2ª 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 λ 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 dos fluidos. Influencia. Leyes de Coulomb. Unidad de cantidad de electricidad. Balanza de Coulomb. Correcciones. Ley de las atracciones: 1º método de la balanza, 2º métodos de las oscilaciones. Distribución. Pérdida. Estudio experimental. La electricidad está en la superficie de los cuerpos conductores. Densidad o espesor eléctrico. 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. Teorema de Gauss. Potencial. Definición de potencial, 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 de Laplace, caso del punto interior, ecuación Poisson. Superficies equipotenciales o 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 un esfera. Distribución de las cargas. Unidad de capacidad. Condensadores esféricos, planos, cilíndricos y de forma cualquiera. Reparto de las cargas entre varios condensadores. Descarga de un condensador. 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. Electroscopios. Medida de las cantidades y de los potenciales con la balanza de Coulomb. Electrómetros absolutos de Li, William Thomson y de M. G. Lippmann. Electrómetros, de cuadrante de Thomson, de Hankel y Bohnenberger. Medias de las capacidades, patrones. Medida de los poderes inductores específicos, experiencias de M. Negreano. Máquinas eléctricas. Máquina de rozamiento de Rameden y diversas. Máquinas de influencia: electróforo, replenisher de W. Thomson, máquinas de Holtz y diversas. Rendimiento. Botella de Lanes. Efectos de la descarga. Experiencias de Riess. Relación entre la longitud de la chispa y la diferencia de potencial.

Segunda parte:

Electricidad dinámica. Corrientes eléctricas. Leyes de los contactos. Experiencias de Galvani, de Volta y explicación de Fabroni. Ley de contacto o de Volta. Producción de una corriente. Pila de Volta y explicación de Fabroni. Ley del contacto o 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 máximum de una pila. Corrientes derivadas. Leyes de Kirchhoff. Lema de Kirchhoff. Cálculo de la intensidad en una derivación. Corolarios de M. Boesch. Analogías del potencial. Analogías térmicas e hidráulicas. Presión y fuerza electromotriz.

Termoelectricidad. Calor desprendido o transportado por las corrientes. Ley de Joule. Elevación de la temperatura del circuito. Tensión del hilo. Efecto Peltier. Fuerza electromotriz de contacto. Verificación experimental de M. Le Rous. Corrientes producidas por el calor. Experiencias de Leebeck. Series termoeléctricas. Leyes de Becquerel. Influencia de la temperatura. Punto de inversión. Experiencias de Gauguin. Poder termoeléctrico. Punto neutro. Diagramas termoeléctricos de Fait. Teoría de los fenómenos termoeléctricos. Pilas termoeléctricas de Noe y diversas. Medias de las temperaturas. Electrólisis. Ley general de la electrólisis, electrólisis 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 electrólisis, trabajo químico en el interior de las pilas. Pilas reversibles. Estudio de la polarización. Experiencias de M. Boury. Capacidad de polarización. Teoría de Helmholtz. Fenómenos electrocapilares. Trabajos de M. Lippmann. Interpretación de estos fenómenos. Electrómetro capilar. Retardo de la electrólisis. Pilas y acumuladores. Condiciones que debe de llenar una pila perfecta. Zinc amalgamado. Pilas constantes. Tipo de Daniell, cálculo de su fuerza electromotriz, disipación práctica, modificaciones del elemento Daniell. Pilas diversas. Gasto y rendimiento de las pilas hidroeléctricas. Acumuladores.

Pila de gas. Pila Planté. Acumuladores del género Faure. Rendimiento. Capacidad. Experiencias de 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 producido 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. Cálculo 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 electro-magnético. Equivalencia de una corriente cerrada y de una hoja magnética. Acciones electrodinámicas. Electrodinámica: 1a energía relativa de dos corrientes, 2a energía intrínseca de una corriente cerrada, 3a acción de dos elementos de corrientes ds y ds' . Verificaciones experimentales. Tabla de Ampère. Leyes elementales. Rotación de las corrientes por las corrientes. Acción de la tierra sobre las corrientes. Solenoide 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 inductivas. 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 a la descarga de un conductor. Ley general de la 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 Gramme. Característica. Líneas isodinámicas. Transporte eléctrico de la energía. Transformadores. Bobina de Reckmkorff, bobinas tabicadas, condensador de Fizeau. Unidades. Unidades eléctricas. Dimensiones de las unidades eléctricas en el sistema electromagnético. Unidades prácticas. Determinación del 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 Tohlrausch, 2o método de W. Thomson, método de Sheleton. 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. Disminución del efecto de H, sistemas estáticos, imanes compensadores. Lhunt Poder multiplicador. Resistencias de compensación. Galvanómetros diversos. Constante y fórmula de mérito de un galvanómetro. Media de las corrientes instantáneas. Galvanómetro balístico. Electrodinómetros. Electrodinómetro de Weber y absoluto de Pellat. Ampère. patrón. Medida de las corrientes por la electrólisis. Voltímetros. Medida absoluta de las intensidades. Experiencias de Pouillet. Medidas B. Resistencias. Patrones y aparatos. Patrones de resistencia, ohms. Reóstatos. Caja de resistencias. Medias 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 Kirchoff. Medidas de las resistencias muy grandes. Método de Shmit. Resistencias de la pila, método de Wheatstone, método de Mauce. Empleo del electrómetro. Medidas de las resistencias líquidas. Electrodo sin polarización. Método de Lippman. Disposición de Boury. 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 Pogendorff o de compensación, modificación de del Bois. Reynond. Métodos electrométricos. Electrómetro aperiódico de G. y P 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 de puente. Método del galvanómetro balístico. Medidas industriales. Voltímetros. Amperímetros. Aparatos de Despretz y Carpentier, reductores. Instrumentos de W. Thomson, amperómetro, voltímetro. Amperómetro de Lippmann. Mise en expérience de los voltímetros y amperímetros. Electrodinómetro 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 periodo, 2o vibraciones de periodos desiguales. Producción y propagación del sonido. Naturaleza del sonido. Propagación del sonido en el aire, fórmula de Newton. Fórmula de Laplace, medida indirecta de C/c . Medida experimental de la velocidad del sonido en el aire. Medida de la velocidad del sonido en los líquidos y los sólidos. Reflexión, refracción e interferencias del sonido. Altura. Timbre.

Óptica

Primera parte. Óptica geométrica. Reflexión. Leyes de la reflexión. Espejos planos. Espejos esféricos, cáusticos. 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, puntas nodales. Cálculo de los constantes de una lente. Caso en que los medios extremos son los mismos. Lentes infinitamente delgadas. Refracción al través de más de dos superficies esféricas, sistemas de lentes. Estudio experimental de las lentes esféricas, aberración de esfericidad. Dispersión. Espectro, producción de un espectro puro, rayos del espectro, espectro infra-rojo, espectro ultra-violeta. Espectroscopio. Espectroscopio de visión directa. Espectros de emisión, análisis espectral. Espectro de absorción. Inversión de los rayos, origen de los rayos 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. Óptica 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 semilentes de Villet, 2o biprisma de Fresnel, 3o lámina de Borbouze. Anillos de Newton. Experiencias de Fizeau, medida de las dilataciones. Reflexión y refracción. Teoría de Fresnel. Difracción. Principio de Huygens. Doble refracción. Cristales birefringentes de uno y 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. Ideas de Faraday. Hipótesis de Maxwell. Ideas de Faraday. Hipótesis de Maxwell, torbellinos moleculares. Corriente eléctrica. Leyes de Ampère. La relación de la unidad electro-estática a la unidad electromagnética de electricidad, es igual a 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. Hertz, del profesor G. Lodge. Fenómenos actinoeléctricos. Fotometría. Intensidad luminosa total. Unidad de luz. Fotómetros. Espectrofotómetros.

FÍSICA MATEMÁTICA (1901)¹⁷

Igual al programa de 1899, incluyendo lo siguiente:

Aplicaciones de la electricidad

Generación industrial de la electricidad.

¹⁷ Moles, A., et al., *op. cit.*, p. 296.

Generalidades sobre los dínamos. Dínamos de corriente continua. Partes esenciales. Inducido. Circuito magnético, Teoría de estos dínamos. Ensaye de los mismos. Construcción. Formación de proyectos.

Alternadores. Teoría de ellos. Formación de proyectos. Transformadores. Teoría. Ensayes de los mismos. Formación de proyectos.

Distribución de la energía en su forma eléctrica. Conductores. Aparatos de seguridad. Sistemas de distribución directa e indirecta. Contadores. Canalizaciones.

Electromotores. De corriente continua. Alternomotores.

Tracción eléctrica. Nociones generales sobre los tranvías eléctricos. Sistemas de tracción. Elementos de un proyecto de tranvía eléctrica. Ferrocarriles eléctricos.

Alumbrados. Lámparas eléctricas. Proyectos de distribución. Plantas generadoras.

Nociones elementales de electrometalurgia. Vía húmeda. Vía seca.

Telegrafía. Sistema de Morse. Sistemas perfeccionados. Telegrafía submarina.

Telefonía. Teléfonos electromagnéticos. Estaciones telefónicas. Telegrafía y telefonía simultáneas.

TELEGRAFÍA (1883)¹⁸

Electricidad en general, fuentes de electricidad. Fenómenos de electricidad estática, sus leyes, etc. Fenómenos de electricidad dinámica, su constitución, sus leyes, sus efectos, etc. Electro-magnetismo, sus leyes. Polarización eléctrica. Generadores de electricidad. Aparatos para medir la intensidad de las corrientes y para medir resistencias. Leyes de ohm, sus aplicaciones. Unidades eléctricas.

Transmisiones eléctricas por el suelo. Pilas telegráficas. Fórmulas de ohm relativas a las pilas. Circuitos derivados. Determinación de las constantes voltaicas. Aplicación de las fórmulas de Ohm.

Organos eléctricos de la Telegrafía. Distribución del magnetismo en los electro-ímanes y sus armaduras. Condiciones de fuerza en los electro-ímanes con relación a las reacciones exteriores que pueden estimularlos. Magnetismo remanente. Reacciones de inducción, resistencias tipos de lectro-ímanes telegráficos. Bobinas magnéticas y cuadros galvanométricos.

Líneas telegráficas. Líneas aéreas, sub-terráneas, sub-marinas, su trazo, su instalación, construcción de cables submarinos. Reacciones físicas producidas en el seno de los cables. Ensayo de los cables sub-marinos. Manera de reconocer los puntos donde se encuentran los defectos en los cables. Perturbaciones y su influencia en las líneas telegráficas. Aparatos telegráficos. Telégrafos de cuadrante, escritores, impresores, autográficos, automáticos, químicos, duplex, diplex, cuádruplex, etc.

Organización práctica de la Telegrafía. Disposición e instalación de los postes. Disposición de los postes con aparato Morse, con aparato de cuadrante, para transmisiones simultáneas y múltiples. Instalación y comunicación con tierra. Disposiciones telegráficas

¹⁸ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Cursos, caja 19, exp. 8, fo. 142.

sin pila y sin conductores. Manipulación y arreglo de los aparatos telegráficos. Investigación de los arreglos en las líneas telegráficas, su carácter, su manera de investigarlos.

Aplicaciones de la Telegrafía. Investigaciones modernas. Telefonía. Telegrafía neumática y óptica.

El curso de telegrafía general de 1885 poseía el mismo programa.¹⁹

TELEGRAFÍA GENERAL (1886)²⁰

Electricidad en general. Fuentes de electricidad, fenómenos de electricidad estática, sus leyes, etc. fenómenos de electricidad dinámica, en constitución, sus leyes, sus efectos, etc. Electro-magnetismo, sus leyes. Polarización eléctrica. Generadores de electricidad. Aparatos para medir la intensidad de las corrientes y para medir resistencias. Leyes de Ohm, sus aplicaciones. Unidades eléctricas. Transmisiones eléctricas por el suelo. Organos eléctricos de telegrafía. Líneas telegráficas. Aparatos telegráficos. Organización práctica de la telegrafía. Manipulación y arreglo de los aparatos telegráficos.

CURSO DE PRIMER AÑO PARA INGENIERO ELECTRICISTA (1891)²¹

Dividido en dos partes: 1. Un curso de electricidad y magnetismo, estudiando los aparatos y los métodos de medida. 2. Un curso de electrotecnia comprendiendo el estudio de los generadores de la corriente eléctrica y una descripción de las líneas eléctricas, muy particularmente en lo relativo a la ingeniería civil, y según lo que detalladamente a continuación se expresa.

Primera parte

Fenómenos fundamentales: Electrización por rozamiento. Buenos y malos conductores. Comunicación de la electricidad por contacto. Cuerpos aislantes, aisladores. Atracciones y repulsiones eléctricas. Dos electricidades. Ley de Coulomb. Balanza de torsión. Masas eléctricas. Unidad de electricidad. Desarrollo simultáneo de las dos electricidades. Distribución de la electricidad. Localización de la electricidad en la superficie exterior de los conductores. Distribución de la capa superficial. Método del plano de prueba. Distribución sobre una esfera, sobre un elipsoide. Presión electrostática. Poder de las puntas.

Influencia eléctrica: Electrización por influencia. Ley general de la influencia. Verificaciones experimentales. Influencia sobre los cuerpos malos conductores. Esfera de

¹⁹ Impartido por Mariano Villamil. CESU, ENI, Dirección. Planes y programas de estudio, caja 19, exp. 10, fo. 166-239.

²⁰ El profesor fue Mariano Villamil. CESU, ENI. Libro de programas para los diversos cursos de la Escuela Nacional de Ingenieros.

²¹ El profesor fue Mariano Villamil. Ver CESU, ENI, Dirección, informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 153-260.

un campo uniforme. Atracción de los cuerpos ligeros. Péndulo aislado y no aislado. Electroscopio. Electrógrafo.

Potencial eléctrico: Definición del potencial por el electrómetro. Fuerza electromotriz. Líneas de fuerza. Trabajo eléctrico. Definición del potencial por el trabajo. Superficies de nivel. Expresión del trabajo eléctrico. Expresión de la fuerza en función del potencial. Expresión del potencial en función de las masas. Aplicaciones al caso de dos masas de signos contrarios. Potencial de una esfera. Unidades empleadas.

Teoremas generales: Tubos de fuerza. Flujo de fuerza. Teorema de Green. Propiedades de los tubos de fuerza. Teorema de Coulomb. Presión electro-estática. Elementos correspondientes. Aplicación a la influencia. Teorema de Poisson.

Capacidad eléctrica, condensadores: Capacidad de un conductor y de una esfera. Unidad de capacidad. Energía eléctrica. Condensadores. Diversas formas de condensadores. Condensadores esféricos. Descarga del condensador. Energía de un condensador. Influencia de la lámina aisladora. Carga residual. Poder inductor específico.

Efectos de la descarga: Descarga conductiva y disruptiva. Resistencia de los conductores. Fusión y volatilización de los metales. Paso de la descarga a través de los cuerpos malos conductores. Propagación de la descarga por la superficie de los cuerpos malos conductores. Descarga disruptiva. Distancia explosiva. Efectos químicos y fisiológicos de la chispa.

Aparatos de medida electro-estática: Balanzas de Coulomb. Electroscopio de hojas de oro. Electroscopio condensador. Electrómetro de cuadrantes. Método del espejo. Medida del potencial en un punto. Electrómetro absoluto. Botella de Lenz. Electroscopio de descargas de Gangain.

Máquinas eléctricas: Teoría general. Organos esenciales. Ley de la variación de la carga. Máquinas de frotamiento. Máquinas de Ramsden. Máquinas de inducción Replimisher. Máquina de Holtz. Conductor diametral. Máquina de Voss. Gasto y energía de una máquina.

Pila eléctrica: Experiencias de Galvani. Principio de Volta. Ley de contacto. Ley de los contactos sucesivos. Pila de Volta. Debilitamiento de la pila. Modificaciones de la pila de Volta. Polarización de la pila. Empleo de zinc amalgamado. Pares no polarizables. Pares modelos.

Corrientes eléctricas. Acciones caloríficas: Corriente eléctrica. Ley de Ohm. Variación del potencial a lo largo del circuito. Resistencia de los conductores. Energía de la pila. Ley de Jouir. Calentamiento de los hilos. Fenómenos de Peltier. Efecto Thomson.

Corrientes derivadas: Corrientes derivadas. Leyes de Kirchoff. Circuitos múltiples. Diversas maneras de ordenar las pilas. Pilas en serie. Trabajo máximo.

Fenómenos químicos de las corrientes: Electrólisis. Acciones secundarias. Descomposición del agua de la potasa. Ley de Faraday. Hipótesis de Grothus. trabajo de la electrólisis. Polarización de los electrodos. Corrientes secundarias. Trabajo químico en las pilas. Energía de las pilas. Pilas secundarias. Acumuladores. Fenómenos electro capilares. Electrómetro de Lippmann.

Termo-electricidad: Corrientes termo-eléctricas. Fenómenos de la inmersión. Ley de las temperaturas sucesivas. Ley de los metales intermediarios. Pilas termo-eléctricas. Pinza y agujas termo-eléctricas. Teorías de los fenómenos termo-eléctricos. Representación de los fenómenos. Diagrama termo-eléctrico.

Magnetismo. Fenómenos generales: Imanes naturales y artificiales. Polos de los imanes. Distribución de los polos. Acción de la tierra. Acciones recíprocas de los imanes. Ley de Coulomb. Mazas magnéticas. Campo magnético. Campo terrestre. Definición precisa de los polos. La masa magnética de un imán es nula siempre. Momento de un imán. Momento de un sistema de imanes. Campo de un imán. Propiedades de un imán infinitamente pequeño. Energía relativa de un imán infinitamente pequeño.

Constitución de los imanes: Ruptura de una barra imantada. Intensidad de imantación. Distribución del magnetismo. Casos particulares de distribución. Hilo solenoidal. Imán cerrado y solenoidal. Hojas magnéticas. Potencial de una hoja. Energía relativa de una hoja en el campo. Energía relativa de dos hojas.

Influencia magnética: Imantación por influencia. Magnetismo remanente. Fuerza coercitiva. Cuerpos magnéticos y diamagnéticos. Coeficientes de imantación. Susceptibilidad. Variaciones del coeficiente de imantación. Influencia de la temperatura. Curvas de imantación. Retardo de imantación. Estado neutro. Valores numéricos. fuerza de arrancamiento. Permeabilidad magnética. Inducción magnética. Imantación relativa. Trabajo de imantación. Equilibrio de un cuerpo magnético en el campo. Movimiento de cuerpos muy pequeños en el campo. Equilibrio de un cuerpo alargado. Movimiento de los líquidos y de los gases en un campo variable.

Imanes permanentes: Distribución del magnetismo. Momento magnético de una barra. Posición de los polos. Influencia del temple y del recocido. Intensidad de imantación del acero. Influencia de la temperatura. Procedimientos de imantación. Haces magnéticos. Acción desmagnetizadora. Armadura de los imanes. Imantación por la acción de la tierra.

Magnetismo terrestre: Campo terrestre. Brújula de declinación. Brújula de inclinación. Medida de la intensidad. Método de Gauss. Método de desviación. Valor de los elementos magnéticos en París. Distribución del magnetismo terrestre. Teoría de Gauss. Variaciones del magnetismo terrestre.

Electro-magnetismo: Electro-magnetismo. Experiencias de Oersted. Regla de Ampère. Aguja estática de Ampère. Galvanómetro. Corrientes móviles de Ampère. Corrientes de sentidos contrarios, corrientes sinuosas. Campo de una corriente y de una corriente rectilínea indefinida. Experiencia de Biot y Savart. Leyes elementales. Ley de Laplace. Generalización de la fórmula de Laplace. Acción de una corriente circular sobre su eje. Campo de una corriente circular y de dos corrientes circulares paralelas. Ley de Ampère. Identidad de una corriente y de un imán infinitamente pequeños. Teorema de Ampère. Equivalencia de una corriente cerrada y de una hoja magnética. Solenoide electromagnético. Cilindro electro-magnético. Experiencias de verificación de Weber.

Acciones electro-magnéticas: Potencial de una corriente cerrada. Energía relativa de una corriente cerrada y de dos corrientes cerradas. Energía intrínseca de una corriente cerrada. Otra forma de la expresión del trabajo electro-magnético. Acciones electro-magnéticas.

Rotación de una corriente por un imán. Rotación de un imán por una corriente. Rotación de una corriente por una corriente. Rotación de los líquidos y de los gases. Rueda de Barlow. Rotación de una corriente por la acción de la tierra.

Imantación por las corrientes: Experiencia de Arago. Electro-imanés. Notas generales sobre los electro-imanés. Caso de una bobina larga. Imán anular. Resistencia magnética. Electro-imán en herradura. Electro-imán de Ruhmkorff. Imantación del acero. Imantación transversal. Poder rotatorio magnético. Ley de Verdet. Galvanómetro óptico. Fenómeno de Hall.

Inducción: Corrientes de inducción. Inducción por las corrientes, por los imanes y por la tierra. Self-inducción. Extracorrente. Carácter general de los fenómenos de inducción. Ley general de la inducción. Fuerza electro-motriz. Cantidad de electricidad.

Casos particulares de inducción: Aplicaciones. Corriente de descarga por desalojamiento del circuito. Cuadro móvil en un campo uniforme. Medida de un campo magnético. Medida de la componente normal en un punto de un imán. Corriente de descarga por variaciones del campo exterior. Caso de dos bobinas. Determinación de los coeficientes de imantación. Corriente constante. Disco de Faraday. Período variable. Extracorrente de cerradura y de ruptura. Resistencia ficticia. Cuadro girando con movimiento uniforme. Inducción en los conductores no lineales. Amortiguamiento de las brújulas. Corrientes de Foucault. Teoría del magnetismo de Ampère.

Galvanómetro: Galvanómetro. Brújula de tangentes. Brújula de senos. Galvanómetro. Forma de la Bobina. Imán compensador. Agujas estáticas. Amortiguamiento. Shunts. Galvanómetro diferencial, de Thompson, de Nobili y de Deprez d'Arsonval. Electro-dinamómetro.

Medidas electro-magnéticas: Medidas usuales. Medidas de intensidad y de cantidad de electricidad. Galvanómetro balístico. Corrientes alternativas. Medidas de las resistencias. Puente de Wheatston y de cuerda. Resistencia de una pila. Medida de las fuerzas electro-motrices. Método de comparación. Pilas cerradas. Medida de las capacidades.

Unidades eléctricas: Unidades fundamentales y derivadas. Dimensiones de una unidad derivada. Relación entre la expresión numérica de una cantidad y la unidad. Las tres unidades fundamentales. Sistema absoluto. Unidades derivadas mecánicas y eléctricas. Diversos sistemas de unidades. Sistema electro-estático y electro-magnético. Relación entre los dos sistemas de unidades. Notas sobre las unidades de los dos sistemas. Elección de las unidades fundamentales. Sistema de G.C.S. Unidades prácticas. Cuadro de las dimensiones.

Determinación del ohm: Modelos de medida. Cuadro giratorio. Método de Weber. Inducción mutua de dos bobinas. Método de Kirchhoff. Corriente constante. Método de Lorenz. Valor de ohm. Ohm legal. Medida del número A. Medida de una cantidad de electricidad. Medida de una fuerza electro-motriz. Medida de una capacidad. Valor de A.

Máquinas de corriente constante: Máquinas de corriente constante. Generadoras receptoras. Máquinas magneto y dínamo eléctricas. Dínamo sin hierro dulce y con hierro dulce, característica. Máquina empleada con receptora. Máquina funcionando como generadora. Transporte de la energía. Máquinas usuales.

Máquinas de corrientes continuas: Máquina Gramme. Organos esenciales. Juego de la máquina. Variaciones de la corriente. Desalojamiento de las escobas. Pérdidas de energía. Diferentes tipos de máquinas. Máquina Siemens. Cálculo de un máquina.

Máquinas de corrientes alternativas: Propiedades generales. Máquinas apareadas. Diversos tipos de máquinas. Máquina Siemens y de Grammz. Transformadores. Diversos tipos de transformadores. bobina de Ruhmkorff. Intensptor. Condensador de Fizeau. Corriente directa e inversa. Gasto de la bobina.

Alumbrado eléctrico: Alumbrado de incandescencia. Arco voltaico. Fuerza electro-motriz del arco. Trabajo del arco. Empleo de las corrientes alternativas. Carbones. Reguladores. Bujías eléctricas. Soldadura eléctrica.

Galvanoplastia: Aplicaciones de la electrólisis. Electrodo. Trabajo químico de un Ampère. Nikelación. Plateado. Dorado. Cibrizado. Galvanoplastia. Electro metalurgia. Metales alcalinos. Afinación del cobre. Horno eléctrico. Fabricación del bronce de aluminium.

Telegrafía eléctrica: Comunicación entre dos puntos. Método Duplex. Líneas condensadoras, aéreas, subterráneas y submarinas. Aparatos de transmisión. Campanas. Aparato Morse y Hughes. Telégrafos escritores. Velocidad de transmisión. Teoría de Thomson. Distribuidor Baudot. Empleo del galvanómetro de espejo. Sifón Recorder. Teléfono. Fonógrafo. Micrófono. Transmisiones telefónicas.

Electricidad atmosférica: Potencial en un punto del aire. Superficies de nivel. Electrización negativa del suelo. Situación de las masas que obran. Origen de la electricidad atmosférica. Auroras polares. Corrientes telúricas. Nubes tempestuosas. Tempestades. Diversas especies de relámpagos. Duración del relámpago. Efectos del rayo. Para-rayos. Acción preservadora y preventiva. Conclusiones prácticas.

Segunda parte

Líneas eléctricas: Líneas eléctricas. Vuelta por la tierra. Líneas aéreas subterráneas y submarinas.

Conductores: Conductores. Regla de Thomson. Calentamiento de los conductores. Corta-circuitos. Observaciones sobre éste. *Nota:* Conductibilidad de los metales usuales. Líneas eléctricas para corrientes continuas. Líneas eléctricas para corrientes variables. Influencia de la forma de la sección de los conductores. Junturas unionales.

Pieléctricos: Cálculo de la resistencia al aislamiento de una línea eléctrica. Aire atmosférico. Vidrio, porcelana. Madera, fibra vegetal, ebonita, materias textiles, gutta-percha. Cubrimiento de los conductores por gutta-percha. Caoutchouc. Dieléctricos líquidos.

Canalizaciones eléctricas: Canalizaciones Edison (Primer sistema). Canalizaciones Edison (Segundo Sistema).

Desarreglos de las líneas: Ensayes de las líneas eléctricas. Naturaleza de los desarreglos. Localización de un desarreglo. Método por la determinación de la resistencia eléctrica. Caso de un contacto con la tierra. Contacto entre dos hilos. Método por la inducción telefónica. Localización de una interrupción de la línea.

Telegrafia

Telegrafia y telefonía. Sistema telegráfico de Morse: Alfabeto. Manipulador. Recepción por el sonido. Receptor registrador. Disposición y ventajas de los aparatos parlantes. Receptor Bain. Resistencia eléctrica de las bobinas del receptor. Aparatos accesorios de una oficina telegráfica. Conmutadores. Galvanoscopios. Advertidores, campana tembladora. Apartarayos. Magneta. Magneta simple, doble y polarizada. Ventajas e inconvenientes del sistema Morse.

Sistemas telegráficos perfeccionados: Clasificación. Aparatos telegráficos o pantelégrafos. Sistemas telegráficos perfeccionados de la primera categoría. Duplex diferencial. Observaciones para el uso de este aparato. Notas. Duplex para el puente de Wheatstone. Duplex. Cuádruplex. Telégrafo armónico de Gray. Sistemas telegráficos perfeccionados de la segunda categoría. Telégrafo Hughes, Wheatstone y múltiples. Rendimientos de los diferentes telégrafos. Consideraciones generales.

Teoría de la transmisión de señales: Retardo en la recepción de señales. Curvas de entrada y de disminución de la corriente. Duración del período variable. Necesidad de reducir la velocidad de los aparatos en las líneas de largo período variable. Transmisión en los cables submarinos. Sistema telegráfico de Thomson y Varley. Sifón recorder. Duplex en las líneas de período largo variable.

Telefonía: Recuerdo de los principios de acústica. Fenómeno de Page. Teléfono músico de Reis. Teléfono electro-magnético de Bell. Refuerzo de la transmisión. Teléfono de Siemens, de Grower, y Ader. Micrófono de Hughes. Transmisión por corrientes transformadas. Distancia de transmisión. Cualidades de un buen transmisor microfónico. Transmisores de lápices de carbón, Ader, Edison, y Blake. Panteléfono de M. Preece. Teléfono químico de Edison o electro-motógrafo. Aparatos telefónicos. Instalación de una estación de abonados. Estación Blake.

Redes telefónicas: Redes telefónicas. Instalación de una oficina central. Sistema de conmutadores Suizos. Sistema por Jack-Knives. Inducción telefónica. Procedimientos anti-inductores. Derivaciones. Inducción por las corrientes telegráficas. Procedimiento anti-inductor. Van Rysselberghz.

Telegrafia y telefonía simultáneas: Caso de una sola línea telefónica. Caso de varias líneas. Advertidores. Ventajas e inconvenientes. Phonoplex Edison. Comunicaciones entre los trenes en marcha.

Aplicaciones de la electricidad a la ingeniería civil. Aparatos para líneas de doble vía: Principio del block-sistem. Aparato de Regnault, Tyer y Preece. Electro-semáforo. Tesse, Lartigue y Prud'homme. Aparato Spanoletti y Redeliffe. Modificación del aparato Regnault. Modificaciones del electro-simáforo. Aparato del nuevo block para el ferrocarril de París, León. Aparato Tyer modificado, Siemens y Halske, HKrizik, Hattemer y Kohlfurst, Sykes, Flamche. Blocksystem automático (Caraldini, etc.).

Aparatos para líneas de vía única: Campanas Siemens y Leopolder. Aparato del camino de hierro Altona-Krieler. Transmisores automáticos.

Aparatos protectores para algunos puntos particulares: Disco Schaffer. Otros tipos de discos eléctricos. Discos de Hall, de Prop y Hendrickson, de Rikly. Dispositivo Curriz y Timmes. Disco de la Compañía "Unión eléctrica". Disco de Rousseau. Disco de Furich y Leopolder. Disco Hattmer, Kwezik, Langie, Weirich, Hipp, de Rommel, de Banowitz, Hattmer. Desenganchador eléctrico. *Declenchement* electro-automático de freno en el vacío. Aparato de protección electro-automática. Aparato de paso a nivel, de la Compañía París, León, etc. Advertidor automático, de la Compañía París, León, etc. Pedalos de la Compañía del Norte. Trompa electro-automática. Barrera maniobrada eléctricamente. Cerrojo eléctrico.

Aparatos de comprobación y de registro: Comprobadores de discos. Comprobadores para encender y de agujas. Tipo de Ferrocarril del Oeste. Tipo del Ferrocarril del Norte, de París, León, etc. Comprobadores de velocidad. Aparato Digney, Jouselin Garnier y de los Ferrocarriles Suizos. Comprobadores de Gunters, Hausen, de Berge-Marche. Wagon dinamómetros de las Compañías del Norte y del Oeste.

Aparatos de correspondencia: Aparato Guggemos y de portazgos. Indicador Jouselin. Aparato Leduc y Wualter. Intercomunicación eléctrica de los trenes. Aparato de *enclenchement* de las estaciones de maniobra. Aparatos Siemens y Halske. Aparato de los ferrocarriles de Alsacia y Lorena. Aparato de la Dirección de Francfort sobre el Mein.

CURSO DE SEGUNDO AÑO DE INGENIERO ELECTRICISTA (1891)²²

Alumbrado Eléctrico

Relación entre la energía gastada y el poder luminoso de los focos eléctricos. Lámparas de incandescencia de diversos sistemas. Lámparas de arco voltaico. Comparación entre ambos sistemas. Elección más conveniente de la clase e intensidad de los focos según las aplicaciones. Reglas para las instalaciones. Regulador de corriente. Corta circuito de seguridad. Indicador de corriente. Medias fotométricas. Ventajas de la luz eléctrica.

Transporte eléctrico de la fuerza

Teoría del transporte eléctrico de la fuerza: Variaciones del trabajo transmitido y del rendimiento con la fuerza electromotriz de la máquina receptora. Rendimiento eléctrico e industrial. Curvas características. Regularización de la velocidad. Determinación de la velocidad de rotación de los dinamos para obtener el rendimiento industrial máximo. Transmisión a gran distancia. Pérdida de corriente en la línea. Relación entre el costo de la instalación y la pérdida de energía. Sección más económica del conductor. Regla de Thomson. Protección de las instalaciones y de las líneas. Ejemplos de diversos transportes de fuerza. Comparación entre el sistema eléctrico, con los otros sistemas de transporte de fuerza. Conclusiones prácticas.

Tracción eléctrica: Motores eléctricos. Causa y sentido del movimiento. Invertimiento del sentido de rotación. Variación del trabajo y del rendimiento. Regularización de la

²² El profesor fue Alberto Best. CESU, ENI, Dirección, informes y reglamentos, caja 7, exp. 10, fo. 153-260.

velocidad. Electro-motores de corrientes alternativas. Disposición del electro-motor sobre el vehículo. Diversos sistemas de tracción: generador fijo, conductores especiales, acumuladores, etc. Tranways eléctricos. Ejemplos prácticos. Teleferaje.

Electro-metalurgia: Objeto de la electro-metalurgia. Anodos solubles o insolubles. Ley de Thomson aplicada a la separación eléctrica de los metales. Refinación del plomo, cobre, zinc, etc. Tratamiento eléctrico de los minerales por diversos procedimientos. Extracción del oro y de la plata de los minerales pobres y de los residuos. Extracción del aluminio y del magnesio por vía húmeda, procedimiento de Graetz. Extracción del aluminio por vía seca, procedimientos de Cowles, Heroult, etc. Fusión eléctrica de los metales. Aplicación de la electricidad a los análisis químicos.

Aplicaciones industriales diversas: Líneas eléctricas aéreas, subterráneas y submarinas. Conductores: influencia de la forma de la sección de los conductores. Aplicación de la ley de Foule para determinar el calentamiento de los conductores. Distribución directa de la electricidad. Distribución en serie, en derivación, en sistema Edison, mixtas e indirectas por medio de acumuladores y por medio de transformadores. Clasificación de los contadores eléctricos. Diversos sistemas de contadores.

Nota: Las clases serán orales, sirviendo de obras de consulta las de Eric Gérard y E. Monier

APLICACIONES DE LA ELECTRICIDAD (1899)²³

Dínamos. Ideas generales. Dínamos de corriente continua, su clasificación con respecto al inducido y enrollamientos diversos, circuito magnético de los dínamos, diferentes modos de excitación, teoría de los dínamos 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.

Dínamos de corriente alternativa, clasificación de los alternadores según la forma del inducido, clasificación de los mismos según el órgano móvil, nodos 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, en teoría, su ensaye y formación de proyectos.

Distribución de 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, por medio de transformadores, contadores eléctricos. Líneas aéreas. Postes aisladores, formación de proyectos y construcción de las líneas. Líneas subterráneas, ideas generales, líneas para corrientes alternativas, líneas submarinas, aislamiento de las canalizaciones. Ensayes especiales de las líneas telegráficas. Telegrafía.

²³ CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio. Cursos, caja 20, exp. 20, fo. 571-572.

Ideas generales. Sistema Morse, dúplex, diplex, cuadruplex. Otros sistemas telegráficos. Telegrafía submarina.

Telefonía. Descripción de los aparatos telefónicos, extracciones centrales, estaciones telefónicas de los abonados.

Telegrafía y Telefonía simultáneas. Motores eléctricos. Diversos modos de excitación de los motores de corriente continua. Construcción de estos motores, formación de un proyecto de motor de corriente continua. Alternomotores. Motores sincrónicos monofásicos. Generalidades, modo más conveniente de excitación de estos motores, motores sincrónicos de corrientes polifásicas, propiedad general, tipos diversos, motores asincrónicos polifásicos, caracteres de estos motores, descripción de algunos tipos, su teoría, proyectos de motores asincrónicos de corrientes trifásicas.

Transmisión y distribución de la potencia mecánica. Teoría del transporte de energía de un dínamo generador de corriente continua a un motor de la misma especie. Formación de un proyecto de transmisión con máquinas de esta clase, diversos sistemas de máquinas empleadas en las transmisiones de energía mecánica. Transmisión por alternadores y alternomotores, ejemplos industriales. Distribución de la energía de las fábricas, substituyendo los medios eléctricos a los medios mecánicos. Aplicaciones a las máquinas en la explotación de las minas.

Tracción eléctrica. Ideas generales, condiciones de las vías, conductores para la toma de corriente, líneas aéreas, líneas subterráneas, líneas electromagnéticas. Material rodante. Espectros producidos por los tranvías eléctricos, en los aparatos telefónicos, en las canalizaciones metálicas existentes en la ciudades y en los aparatos de medida, medios empleados para atenuar o suprimir estos efectos. Tracción por acumuladores. Sistemas mixtos de tracción por canalización eléctrica sobre parte de la línea y por acumuladores en la otra. Proyectos de tranvías. Ferrocarriles eléctricos, ejemplos de algunas instalaciones. Sistemas de tracción por el sistema Heilmann. Gasto de la tracción eléctrica en los tranvías, casos en que es mas conveniente la tracción eléctrica, para los tranvías, que la tracción animal.

Alumbrado eléctrico. Lámparas de incandescencia, su fabricación, modos de alimentación de las lámparas de esta clase, lámparas de arco, arco producido por corrientes alternativas, división de las lámparas de arco, reguladores de estas lámparas, condiciones que deben llenar las estaciones generadoras de electricidad para el servicio de alumbrado, ejemplos de instalaciones de alumbrado, distribución por corrientes polifásicas, alumbrado de las ciudades, de los establecimientos, teatro, almacenes, trenes, vagones, minas, etc. Formación de proyectos para la distribución urbana de la electricidad, costo del alumbrado eléctrico.

Electrometalurgia. Leyes fundamentales. Vía húmeda. Galvanoplastia. Formación de depósitos metálicos adherentes sobre otros cuerpos. Refinación de metales, tratamiento de minerales. Vía seca condiciones en que es ventajosa. Aplicaciones al cobre, plata, oro y plomo.

PRÁCTICA DE MECÁNICA (1882)²⁴

El profesor fue José C. Haro. 1o., el estudio de los motores en general, 2o., el de las máquinas empleadas en las industrias extractivas, 3o., el de las empleadas en las industrias preparatorias, 4o., el de las empleadas en las industrias manufactureras, 5o., el de las empleadas en la industria agrícola, 6o., el de las empleadas en la industria de transportes, y 7o., el de las aplicadas a usos diversos, como alumbrado eléctrico.

Se visitaban las principales industrias mineras o manufactureras para estudiar las diversas máquinas establecidas. En las minas, por ejemplo, las de mayor interés eran las de extracción de metales y de desagüe (las más populares eran del sistema Cornwall).

PRÁCTICA DE MECÁNICA APLICADA (1884)²⁵

Estudio de las partes de los motores y operadores que se usaban en la industria.

1o. Visita a algunos de los talleres y fábricas establecidas en la capital, tales como aserraderías, papelerías, hilados, molinos, fábricas de armas, etc.

2o. También visitaban fábricas de hilados como la de Hércules en Querétaro, las de Puebla, de Lagos o León, además de los ingenios de Orizaba, Córdoba y Veracruz. Ponían especial énfasis en las turbinas, las máquinas de vapor y los talleres de máquinas.

3o. Estudio de las partes de una locomotora en una vía férrea.

4o. Visita a las máquinas y bombas de desagüe localizadas en las minas de Guanajuato y Pachuca.

5o. Realización de dibujos y cálculos de las partes de las máquinas visitadas.

PRÁCTICA DE MECÁNICA APLICADA (1888)²⁶

1o. Estudio de los motores, describiendo su mecanismo, dibujando sus órganos principales y calculando su fuerza productora. Si son máquinas de vapor comprenderá también el de los generadores procurando indagar el consumo de combustible.

2o. Estudio de los diversos órganos dispuestos entre el motor y la máquina operatriz que ejecuta el trabajo que se debe ejecutar.

3o. Cálculo del efecto útil de las máquinas operatrices.

4o. Proyectos sobre instalaciones de máquinas. Para hacer los estudios anteriores se visitaran los principales talleres de construcción y reparación que hay en el Distrito como los talleres de construcción de armas en la Ciudadela. Fundición de cañones del Molino del Rey. Talleres de reparación del material rodante del Ferrocarril Central. Casa de Moneda.

²⁴ CESU, ENI, Dirección, Informes y reglamentos, caja 7, exp. 6, fo. 49-70.

²⁵ En octubre de 1883 fue asignado como profesor Francisco Rodríguez Rey. CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 1, fo. 11-27.

²⁶ Profesor Manuel Urquiza. CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudios, Prácticas de campo, caja 22, exp. 5, fo. 37-47.

Carpintería mecánicas. También algunas de las fábricas de tejidos de algodón y lana de estampados y de papel. En Pachuca y en el Real del Monte, se estudiarán bajo el mismo plan las máquinas y aparatos empleados en las haciendas de beneficio y en las minas. En Orizaba se visitarán las fábricas de mantas y papel de Cocolapan y los talleres de construcción y reparación del ferrocarril Mexicano. En Veracruz las grúas hidráulicas del muelle del ferrocarril y alguno de los buques para ver las máquinas empleadas en la marina. Como no se podrá por lo limitado del tiempo estudiar todos los talleres y fábricas bajo el plan anterior, lo que se hubiese estudiado en una parte solo se visitará en las otras. Al fin de la práctica el profesor presentará una memoria de los trabajos y resultados obtenidos en ella.

PRÁCTICA DE MECÁNICA APLICADA (1889)²⁷

El objetivo de la práctica era dar a conocer experimentalmente a los alumnos los diferentes órganos y transmisiones de movimiento, los motores, receptores y operadores diversamente empleados en las artes, industrias. El programa era el siguiente:

- 1o. Estudios y establecimiento de transmisión por bandas, correas y otros medios
- 2o. Cambios de movimiento, cálculo de organismos, de las porciones soportadas por los órganos y los apoyos.
- 3o. Estudio de resistencias pasivas
- 4o. Estudio de motores hidráulicos y de vapor
- 5o. Estudio de reguladores
- 6o. Estudio sobre diferentes calderas
- 7o. Cálculo del establecimiento de bombas
- 8o. Estudio en diversas máquinas operadoras
- 9o. Ejecución de los dibujos y cálculos necesarios.

Todos estos trabajos prácticos se ejecutaban tanto en el Distrito Federal, visitando los diversos talleres y fábricas del Supremo Gobierno y de particulares como en los Estados, tales como las fábricas azucareras de Cuautla, los Talleres del Ferrocarril en Orizaba, las máquinas propulsoras de buque en Veracruz y las de desagüe y extracción aplicadas a la minería en los Minerale de Pachuca y Real del Monte.

PRÁCTICA DE MECÁNICA APLICADA DE 1889 a 1890²⁸

La práctica consistía en la visita a los establecimientos industriales del Distrito Federal, para estudiar los receptores empleados, las diversas clases de organismos, transmisión de movimiento, y por último algunas máquinas operadoras. Posteriormente, se procedía a la visita de otros lugares para dar a conocer a los alumnos la mayor variedad de sistemas empleados haciéndoles notar sus ventajas e inconvenientes.

²⁷ Profesor Rómulo Hugalde. CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudios, Prácticas de campo, caja 22, exp. 6, fo. 48-62).

²⁸ El 25 de octubre de 1889 fue asignado como profesor Francisco Rodríguez Rey. CESU, ENI, Académico, Planes y programas de estudio, Prácticas de campo, caja 22, exp. 1, fo. 1-8.

Como no existían en el Distrito Federal los sistemas de máquinas de vapor de Cornwall, las de columna de agua, los almacenadores hidráulicos de trabajo, las máquinas marinas, se visitaban las ciudades de Pachuca, Real del Monte, Veracruz y Querétaro (para conocer un motor hidráulico notable por su buena construcción y establecimiento es la rueda de la fábrica de Hereules).

Durante la práctica se dejaban a los alumnos algunos ejercicios prácticos que tenían que resolver en la mecánica aplicada, como:

1a. Dadas dos poleas, las distancias de sus ejes y el esfuerzo que trasmite la primera, determinar la longitud de la banda, su anchura y la pérdida de trabajo útil ocasionada por la transmisión.

2da. Dadas las velocidades de dos ejes y su distancia, determinar todo lo relativo a los engranes que deben hacer la transmisión, trazo de los dientes.

3a. Dada la ley del movimiento de un vástago determinar el trazo del excéntrico que lo produce.

4a. Dada la carrera de un émbolo, determinar las dimensiones del paralelogramo de Watt, y también las del rombo de Peaucellier.

5a. Dada una caída de agua (altura y gasto) elegir el motor hidráulico más adecuado, y una vez elegido calcularlo y proyectarlo.

6a. Dado el trabajo de una máquina de vapor, la velocidad angular del volante y la presión de vapor al entrar al cilindro, determinar las principales dimensiones en los casos siguientes:

a) Trabajando a plena presión

b) Trabajando sin expansión

c) Trabajando con expansión y condensación

7a. Dada la altura a que hay que elevar una cantidad de agua elegir la bomba mas conveniente determinando sus dimensiones.

8a. Dada la superficie de caldeo de un caldera, determinar la dimensiones de su válvula de seguridad.

9a. Dada la presión del vapor en una caldera y el diámetro de ésta, determinar el espesor de la lámina.

10a. Dado el ancho de las luces de un cilindro de una máquina de vapor, determinar el ancho de los macizos de la corredera para que se verifique la expansión de los $\frac{4}{5}$ de la carrera.

11a. Calcular el peso del volante en una máquina dada.

12a. Dada una máquina de vapor, determinar: la cantidad de agua necesaria para la condensación y las dimensiones de la bomba de aire.

PRACTICA DE MECANICA (1893)²⁹

I.- Estudio sobre organismo y transmisiones. Resolución de cuestiones prácticas.

II.- Estudio de motores hidráulicos, de vapor, determinación del trabajo, ya sea por el cálculo o sea experimentalmente. Estudio de generadores de vapor. Los estudios prácticos anteriores se verificarán visitando los establecimientos tanto del Gobierno como de particulares.

III.- Motores empleados en la Industria minera. Visita al mineral de Pachuca.

IV.- Motores empleados en la marina.

V.- Dibujos y figuras explicativas

Terminada la práctica se presentaba a la dirección un resumen de los trabajos ejecutados en ella.

²⁹ Profesor Francisco Rodríguez Rey.

APÉNDICE "E"

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ALUMNOS TITULADOS DE 1859 A 1899

En esta sección se presentan los resultados de una investigación que se llevó a cabo durante el presente trabajo, enfocada a cuantificar el número de títulos otorgados por el Colegio de Minería y la Escuela Nacional de Ingenieros en el periodo que va de 1859 a 1899.

Como ya se mencionó anteriormente, las inestabilidades que sufrió el país durante el siglo XIX influyeron frecuentemente en la estructura y organización de estas instituciones, especialmente, en las profesiones que se ofrecieron. Mientras algunas eran canceladas otras se creaban o se les cambiaba el nombre o se les modificaban los planes de estudios. Esto generó que los alumnos que terminaban sus estudios recibieran títulos diferentes aunque sus actividades fueran las mismas. Este hecho se puede observar en el cuadro E.1, donde se anotaron el número total de alumnos que se titularon y el grado que obtuvieron entre 1859 y 1899.

Cuadro E.1 Número total de títulos otorgados por carrera

Carrera	Núm. de alumnos titulados
Ensayadores	136
Agrimensores e hidromensores	22
Topógrafos e hidromensores	58
Ingenieros topógrafos e hidrógrafos	91
Ingenieros geógrafos	11
Ingenieros de minas y metalurgista	90
Ingenieros industriales	5
Ingenieros mecánicos	1
Telegrafistas e Ingenieros Electricistas	1
Telegrafista	3
Ingenieros civiles	33
Ingenieros de caminos, puentes y canales	69

Es conveniente mencionar que el número total de alumnos titulados por carrera se obtuvo a través de diferentes fuentes y no siempre coinciden. Para las carreras de ingeniero civil, de ingeniero de minas y metalurgista y topógrafo e hidromensor, hubo una discrepancia de uno, tres y un alumnos respectivamente. En la mayor parte de las ocasiones no se pudo encontrar la justificación de este hecho, aunque se cotejaron los nombres de los egresados para tratar de localizar el por qué de la discrepancia. Por mencionar un ejemplo, en una de las fuentes¹ aparece Gustavo Uslar titulado de ingeniero de minas en 1866, con una pequeña nota que indica que este alumno fue eximido de

¹ CESU, ENI, Asuntos escolares, Calificaciones y exámenes, caja 25, exp. 38, fo. 179-188 (1893).

examen por orden del Gobierno del llamado Imperio. Este nombre no aparece en otra de las fuentes cuya fecha de redacción es posterior a la fuente anterior.² Para evitar cualquier confusión numérica se decidió escoger como número real aquel que aparece en las fuentes más recientes.

Para no manejar diversos títulos que corresponden a carreras similares, se decidió, en una primera aproximación, compactar aquellas que siendo las mismas carreras poseían títulos ligeramente diferentes (ver cuadro E.2).

Cuadro E.2 Número total de titulados agrupando carreras iguales

Carrera	Núm. de alumnos titulados
Ensayadores	136
Agrimensores e hidromensores	22
Ingenieros topógrafos e hidrógrafos	149
Ingenieros geógrafos	11
Ingenieros de minas y metalurgista	90
Ingenieros industriales	5
Ingenieros mecánicos	1
Telegrafistas e Ingenieros Electricistas	4
Ingenieros civiles	33
Ingenieros de caminos, puentes y canales	69

Con el fin de comparar la trayectoria que tuvo cada una de las profesiones durante la segunda mitad del siglo XIX, se agruparon nuevamente las carreras afines, incluyendo ahora aquellas que siendo o no las mismas, fueron las que se crearon para suplir las que fueron sus antecesoras (ver cuadro E.3)

Cuadro E.3 Número total de titulados agrupando carreras afines

Carrera	Núm. de alumnos titulados
Ensayadores	136
Agrimensores e ingenieros topógrafos	171
Ingenieros geógrafos	11
Ingenieros de minas y metalurgista	90
Ingenieros industriales e ingenieros mecánicos	6
Telegrafistas e ingenieros electricistas	4
Ingenieros civiles e ingenieros de caminos, puentes y canales	102

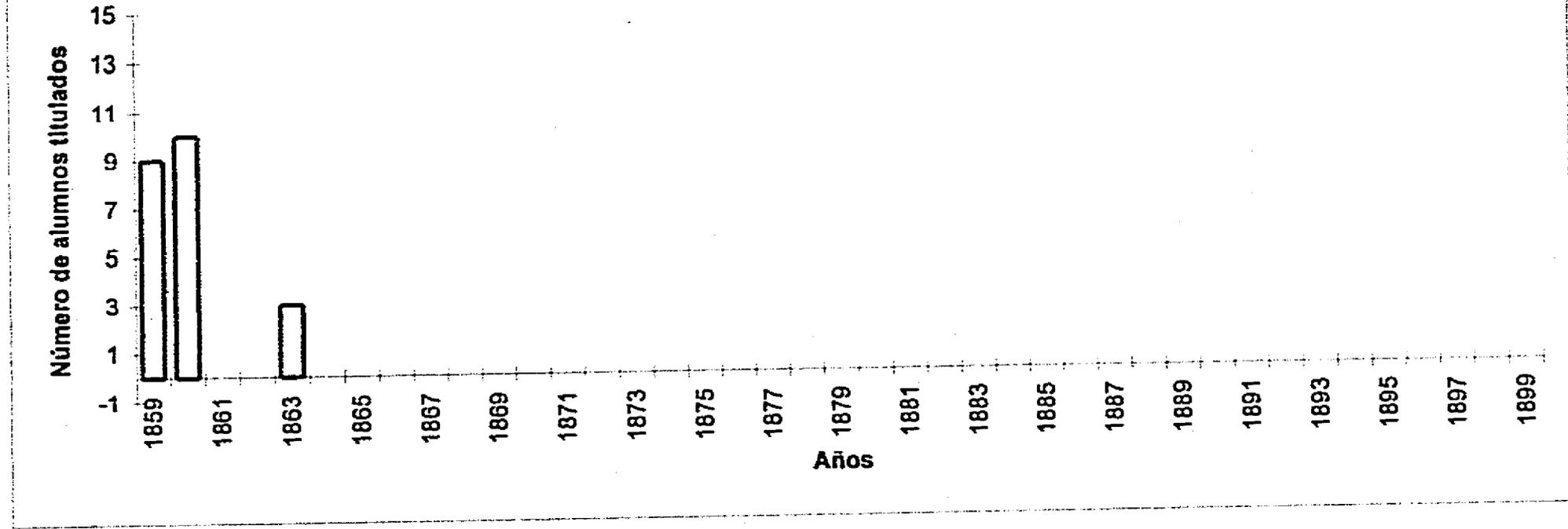
² CESU, ENI, Dirección, Correspondencia, caja 3, exp. 39, fo. 311-320 (1894).

El número total de alumnos titulados por carrera y por año no necesariamente es igual al número total de ingenieros, debido a que los estudiantes al titularse en alguna de las carreras de corta duración tenía la opción de continuar estudiando y obtener otro título. Por mencionar algunos ejemplos: Leandro Fernández se tituló en 1873 de ensayador, en 1876 de ingeniero civil y en 1884 tanto de ingeniero geógrafo como topógrafo e hidromensor; Santiago Ramírez en 1862 obtuvo el título de ensayador y en 1864 de ingeniero de minas y metalurgista; Adolfo Díaz Rugama obtuvo en 1887 los títulos de ingeniero topógrafo e hidrógrafo y de ingeniero geógrafo; Francisco Rodríguez Rey en 1872 se tituló de ensayador y en 1878 de topógrafo e hidromensor; José M. Velázquez se recibió en 1878 de topógrafo e hidromensor y al año siguiente de ingeniero civil; y Mariano Villamil quien en 1866 se tituló tanto de ensayador como de ingeniero topógrafo e hidrógrafo, además de telegrafistas e ingeniero electricista.³

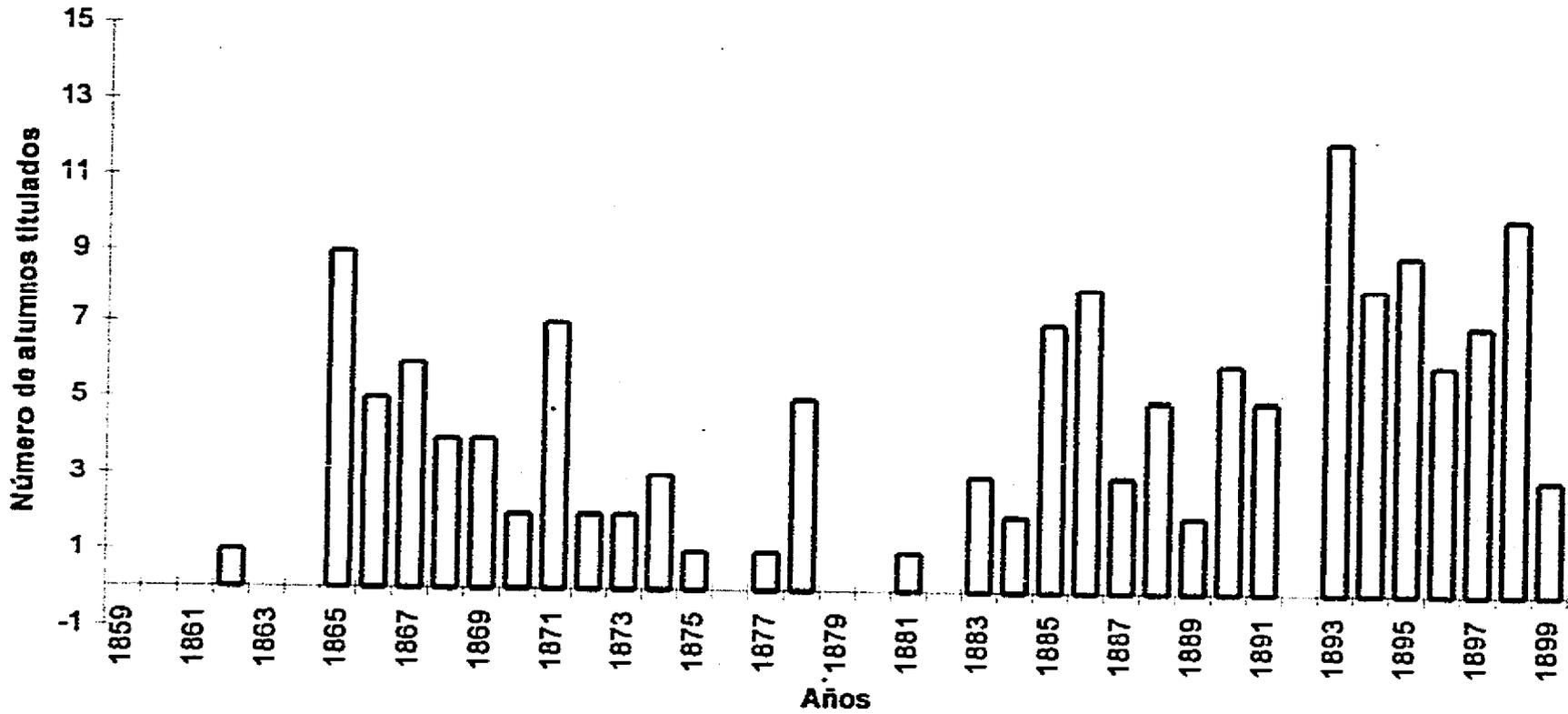
A continuación se muestra una serie de gráficas que permiten observar la evolución que tuvieron las diversas carreras tanto de manera individual como colectiva.

³ *Ibidem.*

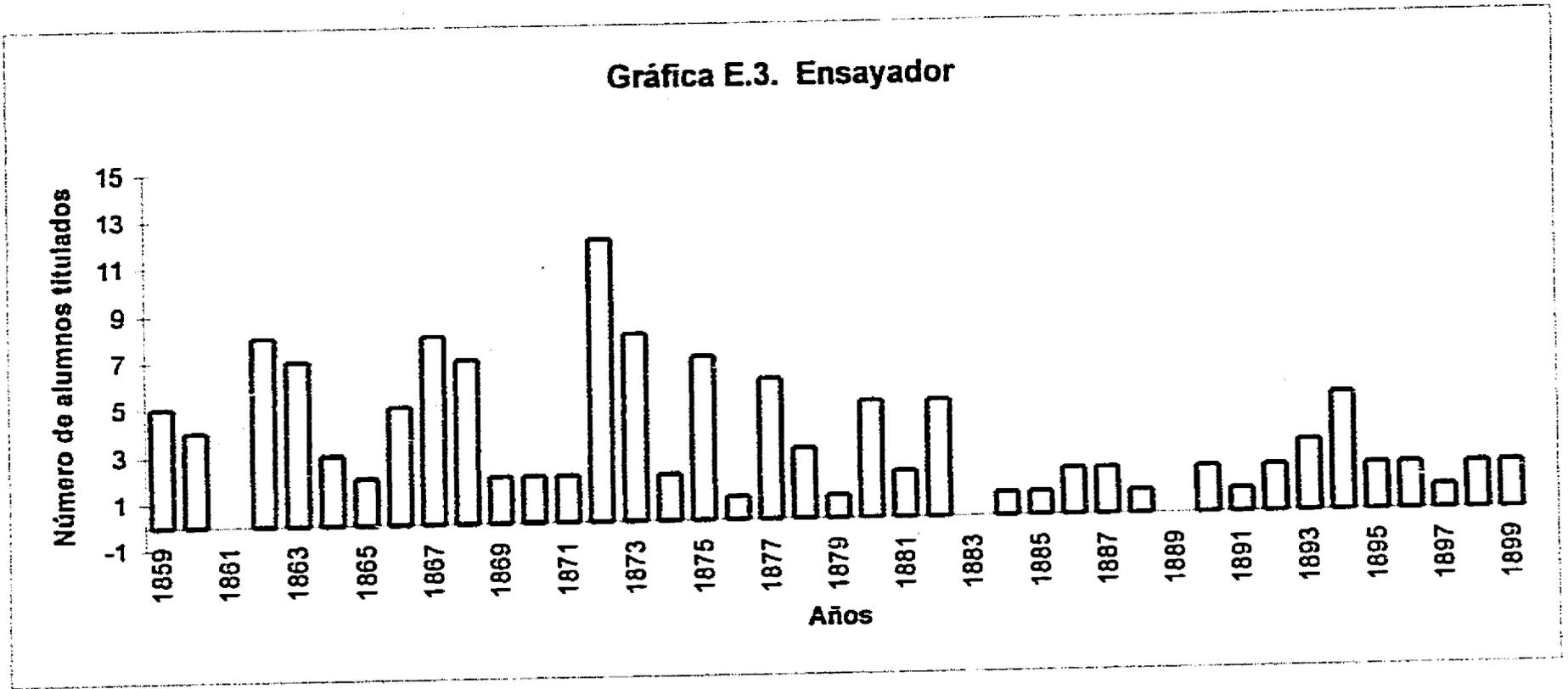
Gráfica E.1. Agrimensor e Hidromensor

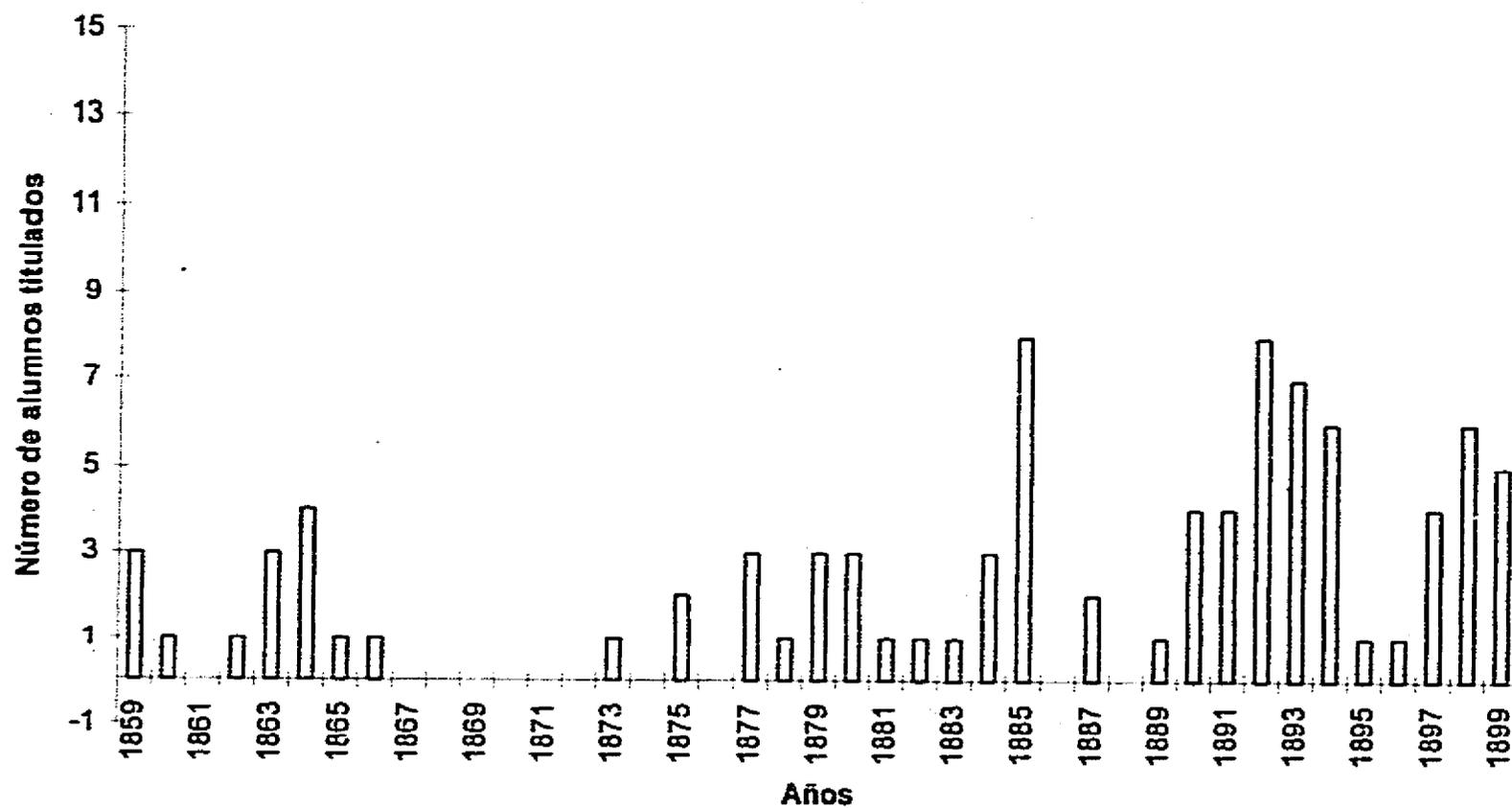


Gráfica E.2. Ingeniero Topógrafo e Hidromensor

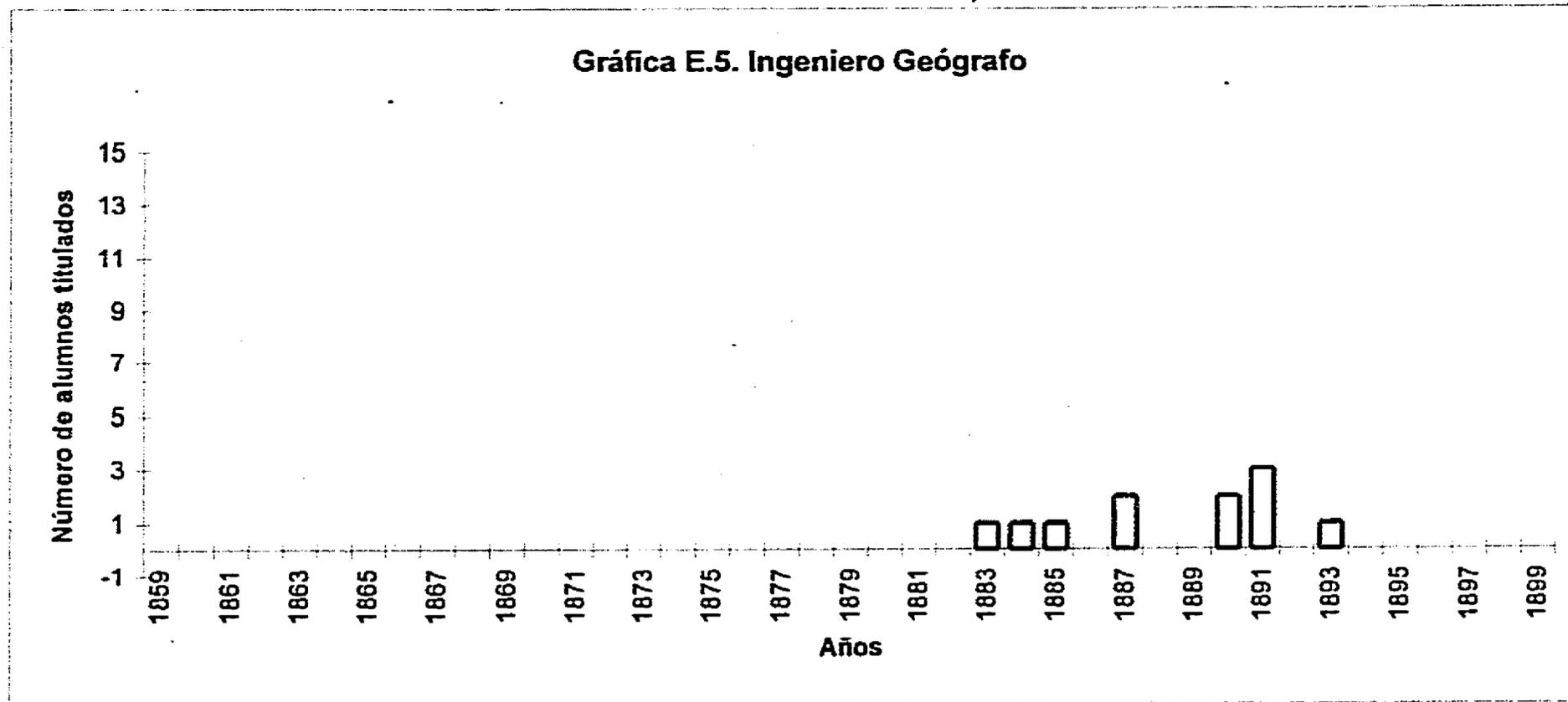


Gráfica E.3. Ensayador

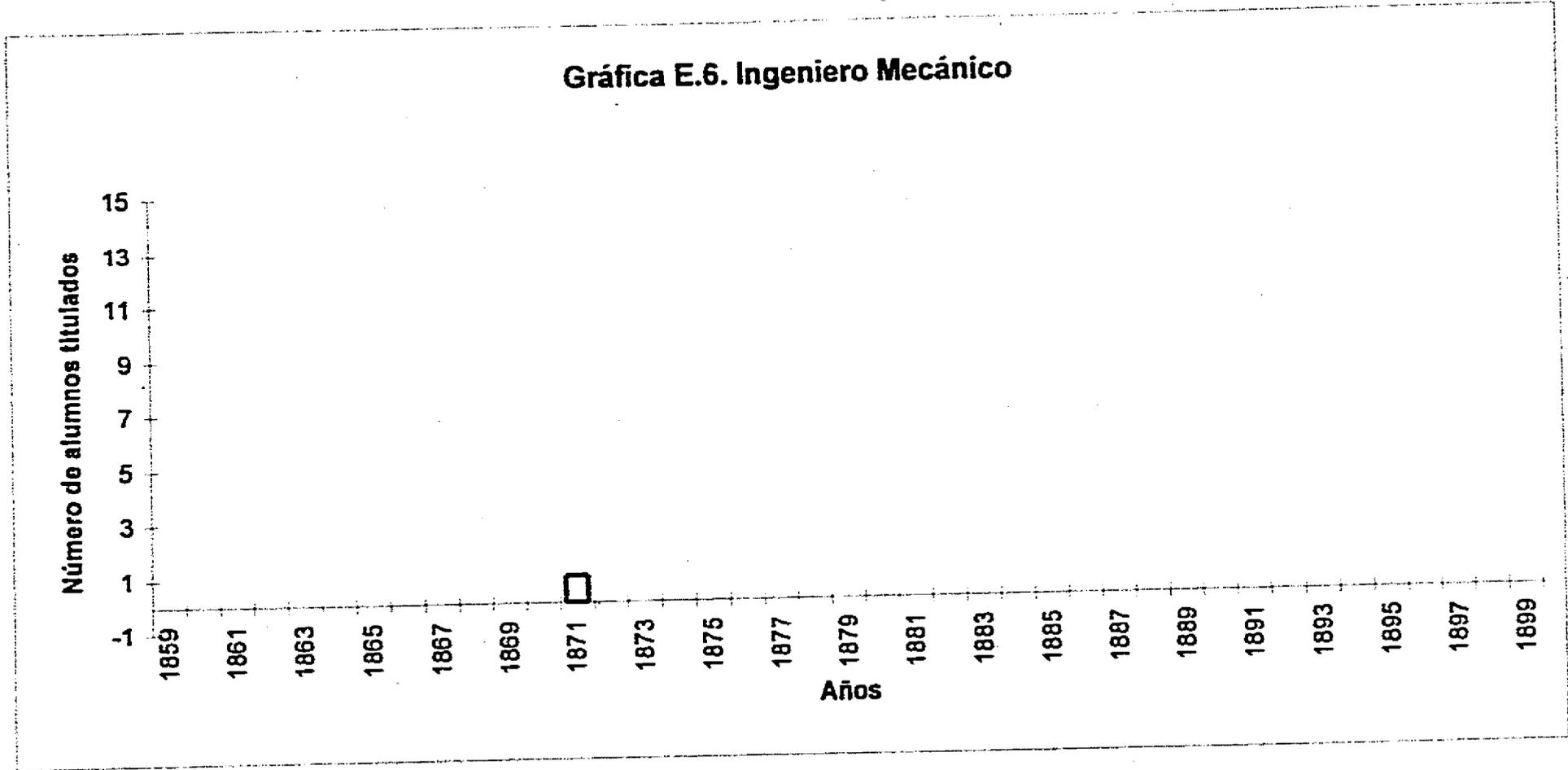


Gráfica E.4. Ingeniero de Minas y Beneficiador de Metales

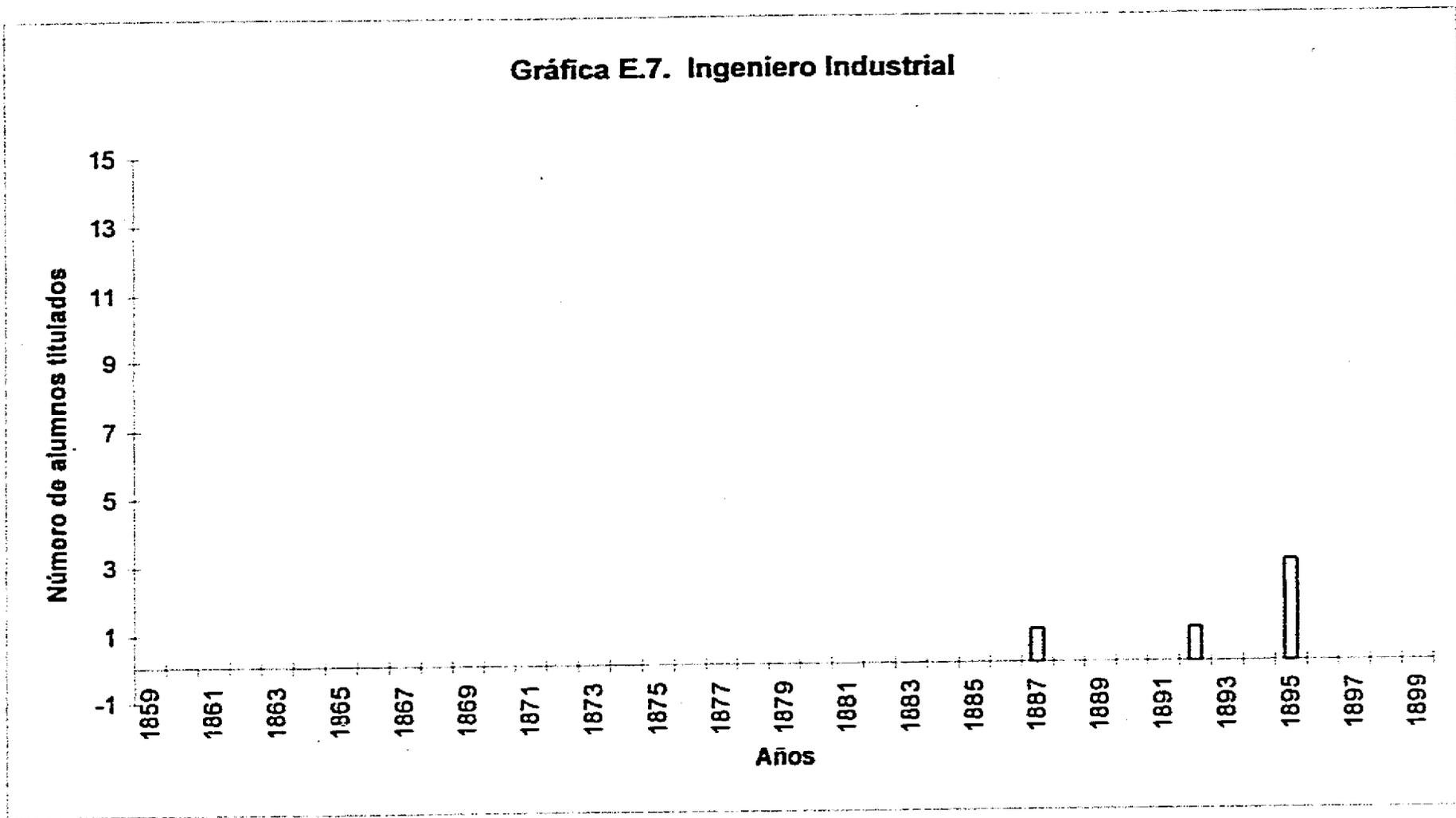
Gráfica E.5. Ingeniero Geógrafo



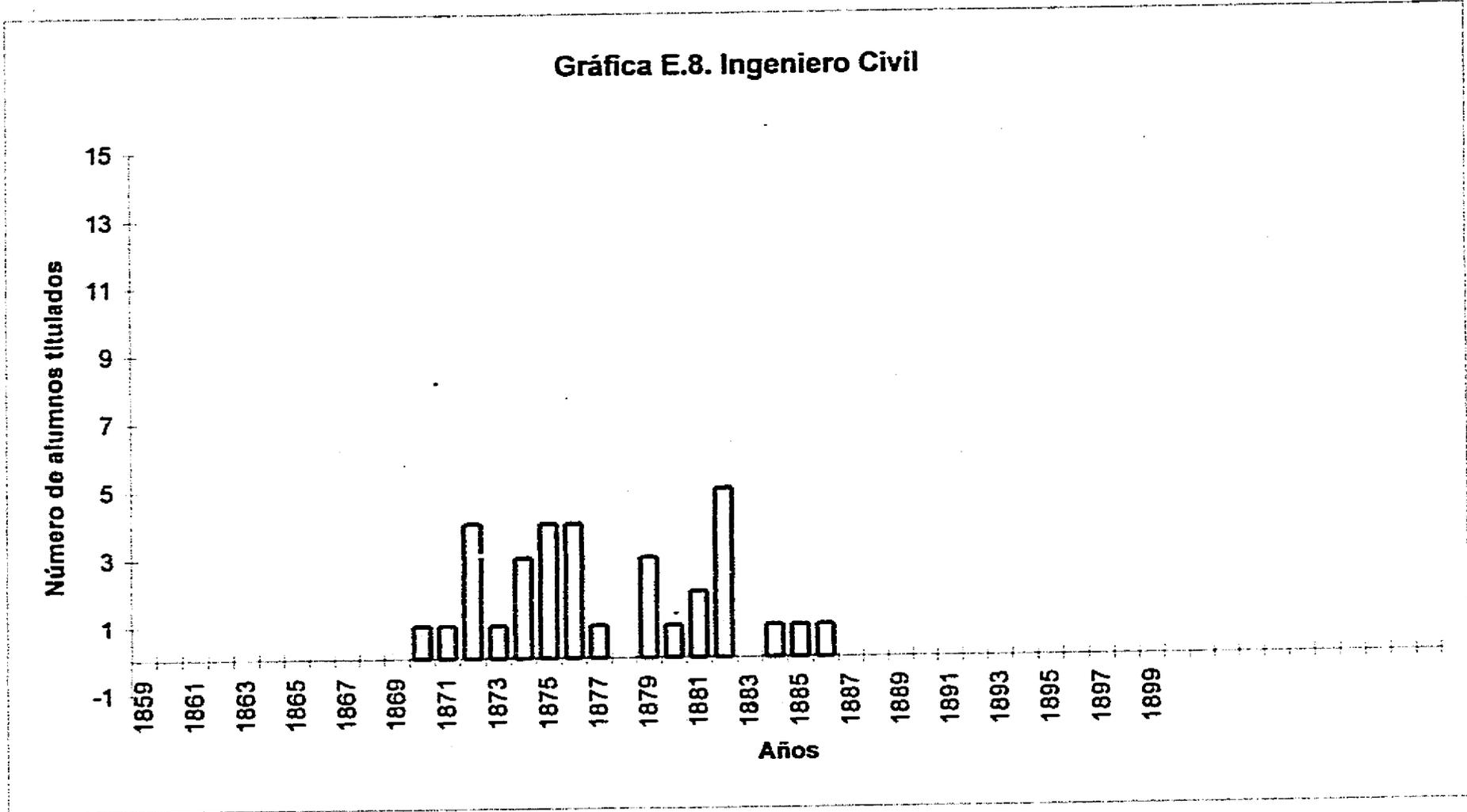
Gráfica E.6. Ingeniero Mecánico



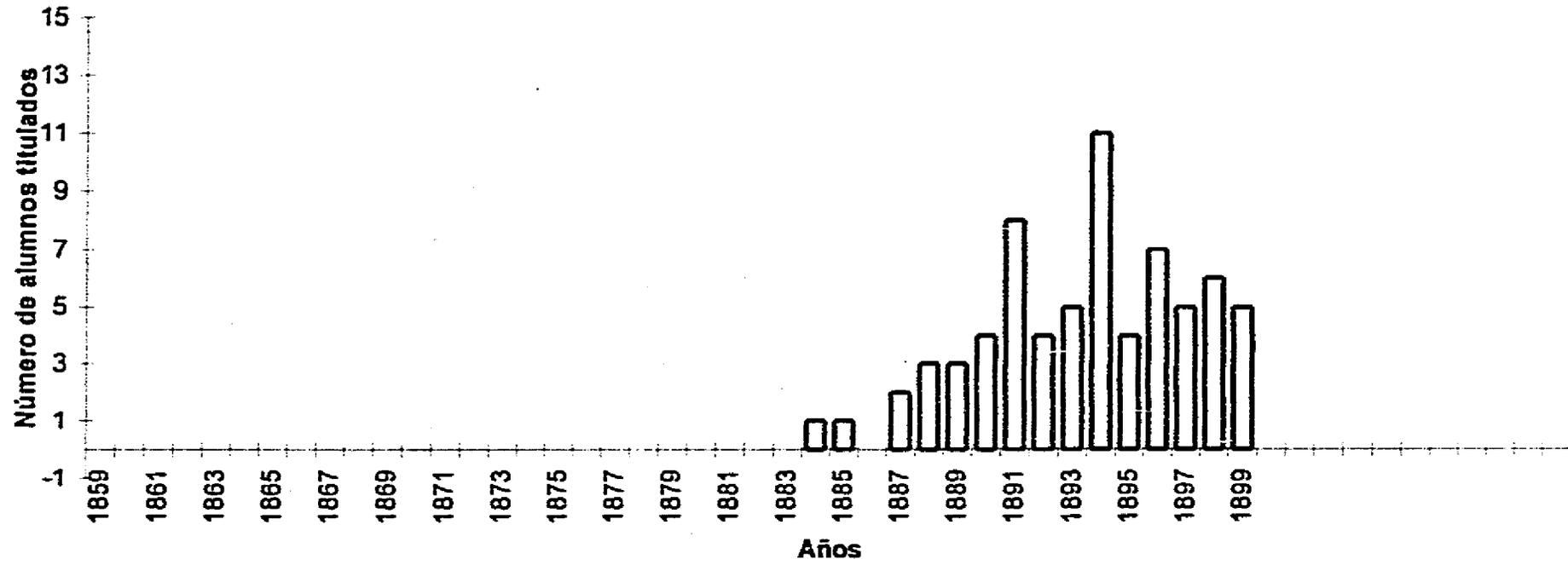
Gráfica E.7. Ingeniero Industrial



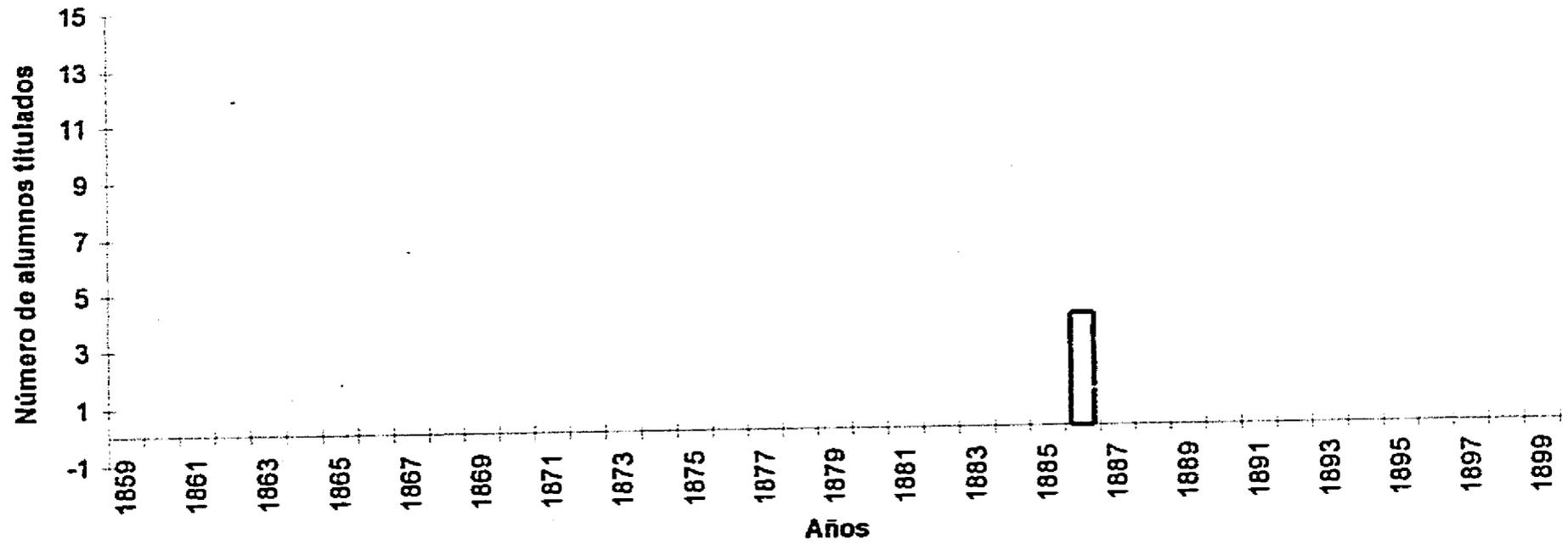
Gráfica E.8. Ingeniero Civil



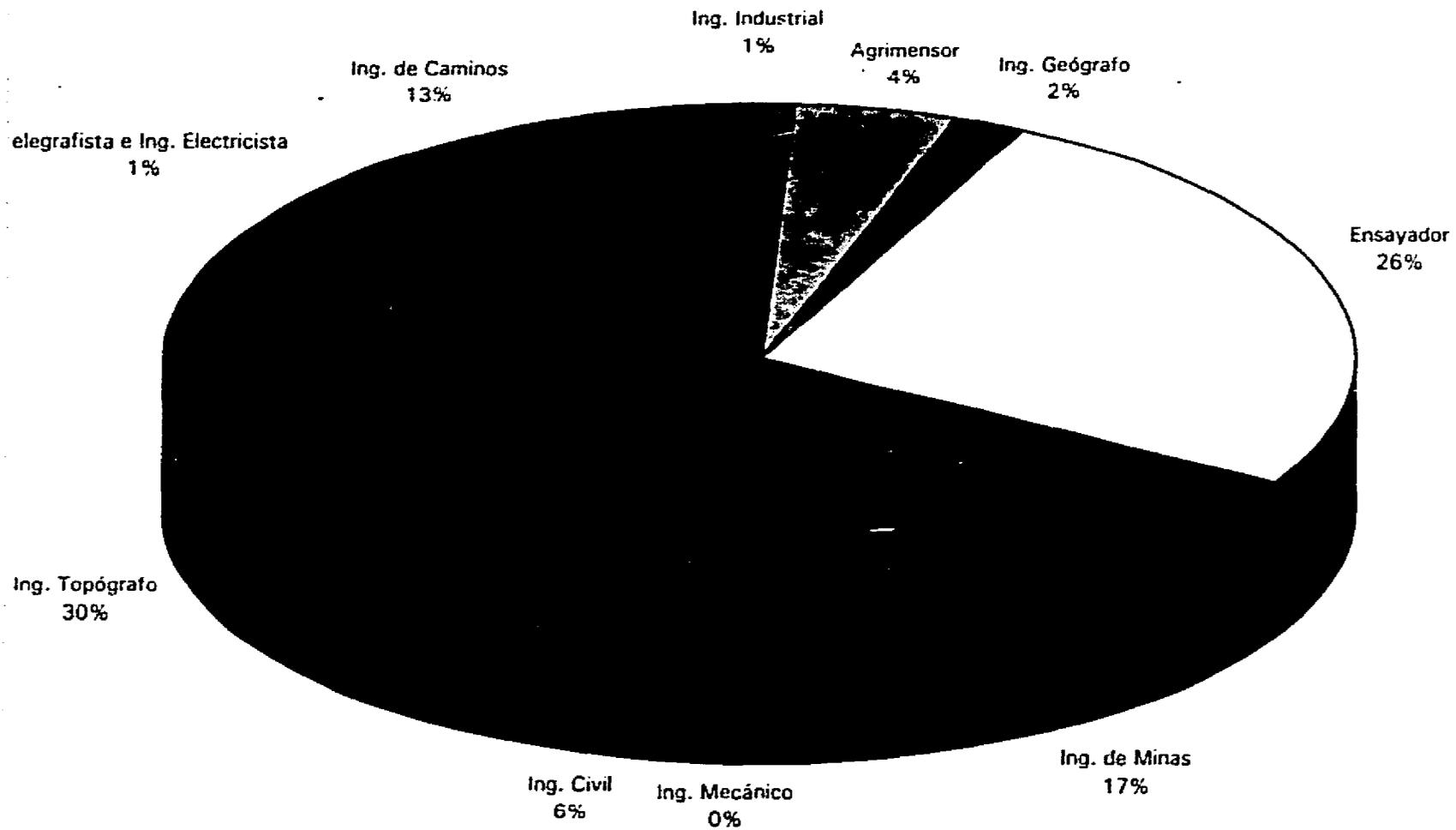
Gráfica E.9. Ingeniero de Caminos Puertos y Canales



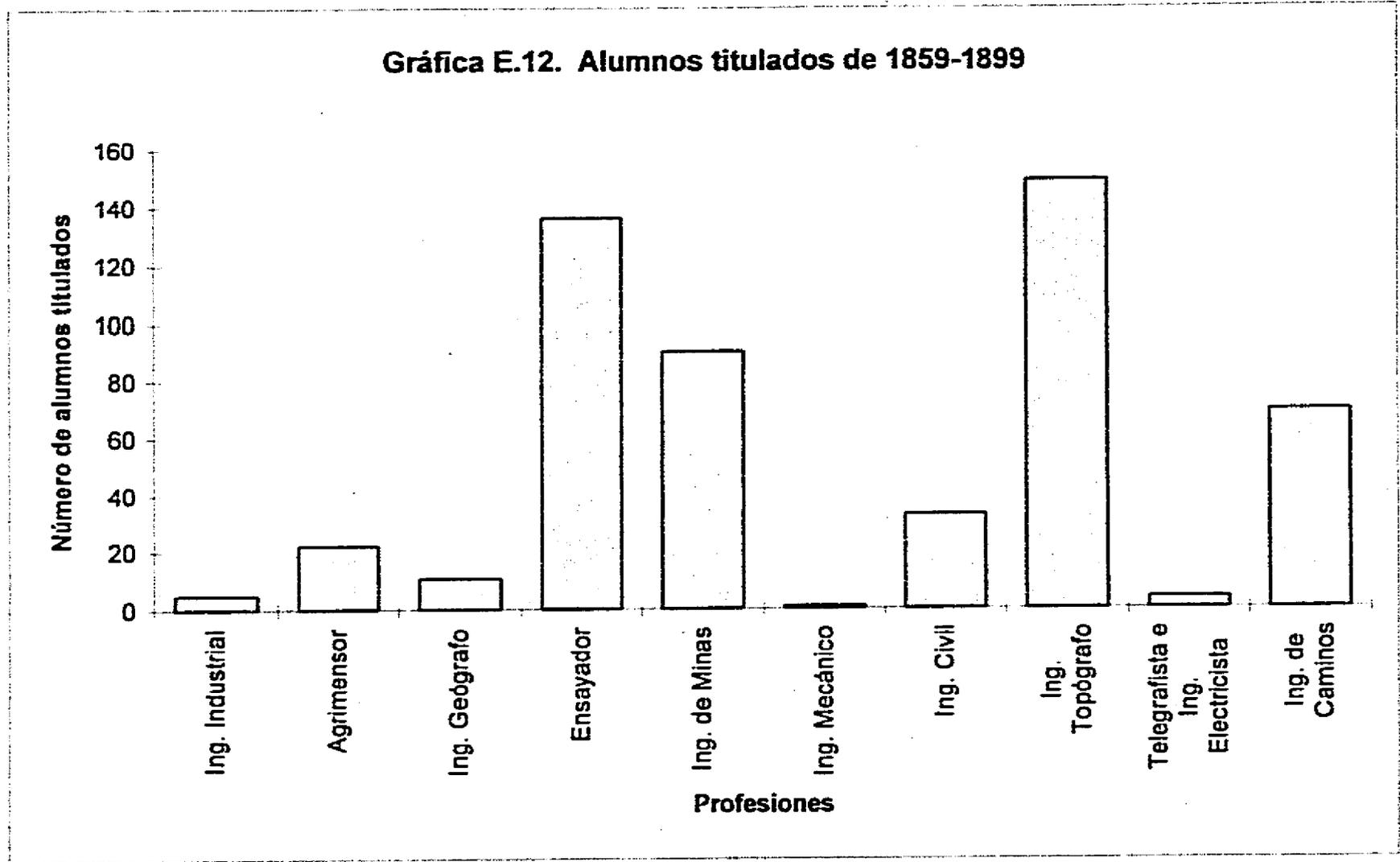
Gráfica E.10. Ingeniero Telegrafista y Electricista



Gráfica E.11. Porcentaje de alumnos titulados por carrera



Gráfica E.12. Alumnos titulados de 1859-1899



Gráfica E.13. Alumnos titulados, agrupando algunas carreras

