



Revista Iberoamericana de Educación

Superior

E-ISSN: 2007-2872

emmaro@unam.mx

Instituto de Investigaciones sobre la
Universidad y la Educación
México

Camacho-Ríos, Alberto

La matemática escolar en el Colegio Nacional de Minería de mediados del siglo XIX

Revista Iberoamericana de Educación Superior, vol. VII, núm. 20, 2016, pp. 94-112

Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educación

Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=299147630006>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

La matemática escolar en el Colegio Nacional de Minería de mediados del siglo XIX

Alberto Camacho-Ríos

RESUMEN

El objetivo es analizar la matemática escolar que se enseñaba en el Colegio Nacional de Minería, en México, en la década que va de 1850 a 1860, así como su utilidad en la resolución de problemas reales involucrados en las prácticas de la minería. Para ello, se estudia y plantea el proyecto de tesis desarrollado por un alumno del Colegio para el diseño y proyecto de tahonas, utilizadas en la molienda del material que se extraía de las minas. Se analizan además otros materiales involucrados en la formación de ingenieros de esa época, como son los manuales, conocimientos matemáticos en juego y planes de estudio. Se considera además una breve historiografía del Colegio desde su fundación y hasta 1859, así como una biografía de la estancia del estudiante a lo largo de los casi diez años en que permaneció entre el Colegio y la Escuela Práctica de Minas. La institucionalización de conocimientos empíricos en la resolución de los problemas enfrentados por el alumno, es un resultado importante para el centro del estudio.

Palabras clave: tahona, ingeniería, difusión de conocimientos, Seminario de Minería, México.

Alberto Camacho-Ríos

Mexicano. Doctorado en Matemática Educativa por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Profesor-Investigador y Docente por el Instituto Tecnológico de Chihuahua II, Chihuahua, México. Temas de investigación: enseñanza de la matemática en ingeniería, historia de la enseñanza de la matemática, sistema de medición mesoamericano.

camachoriosalberto@gmail.com

A matemática escolar no Seminário de Mineração Mexicano de meados do século XIX

RESUMO

O objetivo é analisar a matemática escolar que era ensinada no Colegio Nacional de Minería, no México, na década entre 1850 e 1860, bem como sua utilidade na resolução de problemas reais envolvidos nas práticas da mineração. Para fazer isso, o projeto de dissertação desenvolvido por um aluno do Colégio é estudado e colocado para desenho e projeto de tahonas, moinhos usados na moagem do material extraído das minas. Também são analisados outros materiais envolvidos na formação dos engenheiros daquela época, como manuais, conhecimentos matemáticos necessários e planos de estudos. Aliás, é considerada uma breve historiografia do Colégio, da fundação até 1859, bem como uma biografia do estágio do estudante ao longo dos quase dez anos que ele permaneceu entre o Colégio e a Escuela Práctica de Minas. A institucionalização de conhecimentos empíricos na resolução dos problemas superados pelo aluno é resultado importante para o centro de estudos.

Palavras chave: *tahona, engenharia, difusão de conhecimentos, Seminário de Mineração, México.*

School mathematics in the Colegio Nacional de Minería in the Mid-Nineteenth Century

ABSTRACT

The aim is to analyze school mathematics as taught at the Colegio Nacional de Minería in Mexico, in the decade from 1850-1860, and its usefulness in solving real problems involved in mining practices. To do this, we study and raise the thesis project developed by a student of the College for the design and engineering of grind mills, used in grinding the ore extracted from the mines. They also discussed other materials involved in the training of engineers of that era, such as manuals, mathematical knowledge at stake and curricula. It also underlines a brief historiography of the College since its inception and until 1859, as well as a biography of the student's stay along the nearly ten years that lapsed between the College and the Escuela Práctica de Minas. The institutionalization of empirical knowledge in solving the problems faced by this student is an important outcome around this study.

Key words: *grind mill, engineering, knowledge dissemination, Mining Seminar, Mexico.*

Recepción: 01/04/15. **Aprobación:** 22/02/16.



Introducción

Con la muerte de Joaquín Velázquez de León (1732-1786), el Real Tribunal de Minería de la Nueva España (Méjico) cayó en un desorden que atrasó el proyecto de establecimiento del Real Seminario de Minería, que había sido impulsado a través de las Reales Ordenanzas de 1778 y 1783. Para hacerse cargo del Tribunal, Carlos III nombró a Fausto de Elhúyar (1755-1833) director general, puesto que asumió en septiembre de 1788. Don Fausto fue urgido para la instalación del Colegio Metálico, a la brevedad. Producto de variadas presiones, al iniciar 1790, el director formuló un proyecto muy bien preparado para la edificación del Seminario, que presentó al Real Tribunal y al Virrey en turno. En el proyecto manifestaba los planes de estudio para la carrera de Perito Facultativo de Minas, así como la distribución de actividades de los colegiales.

La apertura del Real Seminario de Minería tuvo efecto el 7 de enero de 1792. Ese atino colocaba a Méjico en un proceso en el que la formación de ingenieros y el cultivo de las ciencias, irrumpiría fincando una tradición que sería heredada, después de la Independencia, al Colegio Nacional de Minería; durante la regencia de Maximiliano de Habsburgo a la Escuela Imperial de Minas, de filiación política; con el triunfo del juarismo a la Escuela Nacional de Ingenieros, de hegemonía positivista y, actualmente, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Méjico (UNAM), así como a las propias facultades de Ingeniería de las diferentes instituciones educativas nacionales de nivel superior.

La formación de ingenieros ha ido de la mano de diferentes ciencias y fundamentalmente de las matemáticas. Este documento se orienta a través de la matemática escolar, e intenta recuperar y reconocer una etapa de la formación de ingenieros en el

Colegio Nacional de Minería, que va de 1850 a 1860. De esa etapa, se intenta mostrar los conocimientos y manuales que les contienen, su difusión de Europa hacia el propio Colegio,¹ planes de estudio, profesores, estudiantes, prácticas, afanes, ilusiones y desilusiones, que dieron sentido a la propia formación. Incluso, se dejan ver las interacciones que hacían los peritos facultativos de Minas con esa matemática, en la resolución de problemas que atendían.

La apertura del Seminario, el primer plan de estudios

Como director del Real Seminario, otro acierto de Don Fausto fue la invitación que hizo en 1794 al peninsular Andrés Manuel del Río (1764-1849), para impartir clases de diferentes asignaturas, principalmente de matemáticas, de hecho sería el primer profesor de matemáticas en el Colegio. Ambos sabios se habían formado en universidades europeas, Elhúyar en París y Del Río en la Universidad de Minas de Almadén. El primero realizó una visita en 1783 a la Escuela de Minas de Freiberg, Alemania, en la que dictó una conferencia sobre la metalurgia y la maquinaria utilizada en las minas, no obstante, ya antes había asistido a la misma Universidad a tomar lecciones de Geometría subterránea y Dibujo, Beneficio de minas, Construcción de máquinas y Metalurgia.

Por su lado, Del Río concluyó sus estudios de minería en la Academia de Freiberg siendo discípulo del director del establecimiento, el geólogo Abraham Gottlob Werner (1750-1817), así como compañero de estudios de Alexander von Humboldt (1769-1859).² Estos encuentros entre los diferentes naturalistas en Freiberg, bien pudieron ser casuales, más tendrían consecuencias importantes en la enseñanza y uso de los conocimientos que difundieron a las primeras generaciones de egresados en el Colegio y culminarían

¹ Se utiliza indistintamente la nominación de Seminario y Colegio, sin hacer distinción.

² Del Río descubrió el vanadio en Méjico en 1801, en tanto Elhúyar el wolframio, en España, en 1783.

además con la visita de Humboldt al Seminario al iniciar el siglo XIX.

El plan de estudios que originalmente propuso Elhúyar para los colegiales de la carrera de Perito Facultativo de Minas, se sintetiza en la tabla 1.

Los requisitos académicos y la recepción como Perito Facultativo de los egresados, se satisfacían en siete u ocho años obteniéndose en el noveno año el título profesional correspondiente, como fue el caso de la estadía en el Colegio del estudiante que se analiza en las siguientes secciones. Si bien los años para la obtención del título rebasan las expectativas actuales, habrá que tomar en cuenta que los colegiales desarrollaban en el mismo Seminario lo que se

conocía como *Estudios Preparatorios*, en por lo menos un año, los cursos teóricos y prácticos, en cerca de cinco años, para finalizar con la estancia en un Real Minero, cuatro o cinco meses, y otros tantos para la escritura de la tesis y presentación para la obtención del título.

Un desglose de la cantidad de horas teóricas y prácticas que desarrollaban los estudiantes por materia, se presenta en la tabla 2. Los cursos iniciaban el primero de enero para finalizar con los *Actos Públicos* a mediados de diciembre del mismo año —alrededor de 42 semanas útiles por año lectivo— para los primeros dos años de la carrera. Los años tercero y cuarto se constituyan por actividades prácticas y

Tabla 1. Plan de estudios propuesto por Elhúyar al iniciar actividades en el Seminario de Minería en 1792. Se muestran solamente las actividades de asignaturas teóricas y prácticas

Primer año	Segundo año	Tercer año
Matemáticas puras: Aritmética, Álgebra, Geometría Elemental, Trigonometría Plana y Secciones cónicas	Geometría Práctica Geometría Subterránea Dinámica e Hidrodinámica	Chimia Mineralogía Metalurgia Prácticas
Cuarto año	Quinto año	Sexto año
Física subterránea Teoría de las montañas Excavación, extracción y faenas fuera del terreno Prácticas	Práctica profesional en un Real de Minas Operación y Laboreo de Minas	Práctica profesional en un Real de Minas Preparación de la tesis

Fuente: se muestra información documentada en Fritz de la Horta (1983, pp. 5-6).



teóricas, 34 semanas de cursos teóricos contra siete de práctica en las minas cercanas a la capital. Quinto y sexto se desarrollaban en 42 semanas útiles de práctica profesional, considerando la elaboración de la tesis durante el último año de estudios en el propio

Colegio. Los estudiantes dedicaban cerca de 35 horas de la semana a actividades dentro del Colegio y otras 40 a las actividades prácticas fuera del mismo.

Los colegiales desarrollaban 8 972 horas desde el inicio hasta la terminación de la carrera: 2 272 horas

Tabla 2. Resumen de las actividades académicas de los colegiales de minería durante su carrera

Primer año:	Horas	Segundo año	Horas	Tercer año	Horas
Matemáticas, 10 clases por 42 semanas (10 x 42)	420	Geometría Práctica y Subterránea (5 x 42)	210	Chimia Mineralogía y Metalurgia (19 x 34)	646
Francés (4 x 42)	168	Dinámica e Hidrodinámica (5 x 42)	210		
Dibujo (4 x 42)	168	Dibujo (4 x 42)	168		
Geografía (1 x 42)	42	Francés (4 x 42)	168		
Doctrina (1 x 42)	42	Geografía (1 x 42)	42		
		Doctrina (1 x 42)	42		
Total de horas teóricas	740		740		646
Horas dedicadas al estudio general (15 x 34)	630		630		(15 x 34) 510
Total de horas prácticas				Prácticas parciales	(40 x 7) 280
Primer año:	Horas	Segundo año	Horas	Tercer año	Horas
Física subterránea y teoría de las Montañas (10 x 34)	340	Práctica profesional en un Real de Minas	1 680	Práctica profesional en un Real de Minas	1 680
Excavación, extracción y faenas fuera del terreno (9 x 34)	306	Operación y Laboreo de Minas (40 x 42)		Preparación de la tesis de grado (40 x 42)	
Total de horas teóricas	646		0		
Horas dedicadas al estudio general (15 x 34)	510		0		
Total de horas prácticas (40 x 7)	280		1 680	Prácticas parciales	1 680

Fuente: información documentada de la que aparece en Fritz de la Horta (1983: 7-10).

de enseñanza teórica, 2 280 dedicadas al estudio, 560 de prácticas de laboratorio y 3 360 de prácticas profesionales y tesis. La diferencia con las carreras de minería que se imparten actualmente en México, se centra en las horas de prácticas profesionales. Los alumnos de ingeniería desarrollan a lo largo de su carrera cerca de 7 000 horas, alrededor de 2 000 horas teóricas, 2 000 horas de estudio, 2 946 de prácticas de laboratorio y solamente alrededor de 68 horas de prácticas profesionales.

La función de los estudios en el Seminario era capacitar a los estudiantes para que realizaran íntegramente las actividades relacionadas con la minería. Los egresados debían entenderse con la prospección de las minas, los reconocimientos y levantamientos topográficos de superficie y subterráneos, estructuración y seguimientos interiores, extracción y conducción de minerales, laboreo del mineral, análisis cualitativos y cuantitativos de los materiales extraídos, refinación, administración minera, etcétera.

Los Principios de Matemática de Bails

En 1802, Del Río tradujo al español la edición alemana de un texto de matemáticas para el uso de los colegiales, que había utilizado para la Primera Clase de Matemáticas durante los primeros años de cursos en el Seminario.

Otros manuales se habían usado con el mismo fin de la enseñanza de la matemática, especialmente *Los Principios de Matemática* del autor español Benito Bails, para la parte de Aritmética, de la cual se solicitaron desde 1792 a Europa 100 ejemplares, obra que no cubría la parte extensa de los programas, de suerte que se llegó a utilizar también la *obra grande* de este autor, la cual constaba de diez tomos, así como una obra intermedia del mismo, condensada en tres tomos. De igual manera se usaron otras obras elementales como la *Aritmética*, *Álgebra* y *Geometría* del español Juan Justo García, la cual no tuvo la acomida esperada. Los manuales de Bails abarcaban

una buena proporción de los planes de estudio. En un principio, para el primer año (1792), Aritmética, Geometría elemental y Trigonometría plana; para el segundo (1793), Álgebra, Secciones cónicas, Geometría aplicada a las minas —lo que ahora se conoce como Topografía subterránea—. No obstante el plan se amplió considerablemente, de manera que para 1798 se impartían Nociones de Cálculo diferencial e integral como base para el estudio de la Física, de suerte que como asignatura formal esta última quedaría incluida en el plan de estudios a partir de 1802.

Bails (1789) concebía el objeto del Cálculo diferencial a la manera de Euler, Newton y L'Hôpital, no obstante, en sus manuales recogió una gran cantidad de temas previstos en la obra de cálculo diferencial del *Cours des Mathématiques* del francés Bézout, escrita alrededor de 1740. Así, Bails definía la derivada a través de determinar “las diferencias de las cantidades infinitamente pequeñas de las cantidades variables”, o sea: “el último decremento o el límite de las diferencias finitas” (1789: 322). Su propuesta provenía de los desarrollos de funciones analíticas usando el teorema del binomio, que se *entrelazan unas a otras* (*ibid.*: 243), las cuales se concebían como *cantidades*, mismas que abarcaban el dominio entero de las asignaturas elementales de la matemática escolar e incluso de aquellas otras ciencias que le utilizaban, como era el caso de la Geometría práctica y la Astronomía.

Durante los primeros 18 años de vida del Seminario, el uso de obras elementales de diferentes disciplinas se caracterizó por una amplia difusión de España hacia México de manuales acuñados en la península que fueron enviados a los colegios mexicanos. Esta difusión se vio restringida y anulada por la guerra de Independencia, etapa en la cual los conocimientos acumulados en obras como la de Bails, se aniquilaron en el Colegio, restringiendo de esa manera la transculturación de saberes modernistas que se enseñaban en las escuelas europeas.



El Seminario entre la difusión de conocimientos

El Seminario estuvo sujeto a los vaivenes políticos de las efímeras etapas de gobierno del presidente Santa Anna. No obstante, se reanudaron relaciones con España en 1836, de manera que los colegios preparatorios fueron los que más se beneficiaron con una amplia difusión de manuales españoles de diferentes disciplinas, entre otros el *Compendio de Matemáticas* del granadino José Mariano Vallejo. En 1844 se crearon juntas directivas de estudios con la encomienda de impulsar la difusión de conocimientos de Europa hacia México, se propusieron modelos de instrucción y establecieron planes de estudio, libros de texto, equipo y material de laboratorio, todo ello europeo. Según afirmaba el ministro de instrucción pública Manuel Baranda: “porque podremos aprovechar todo lo que se sabe en otras partes y ponernos al nivel de las naciones más cultivadas [...] la multiplicación de conocimientos y su difusión por todas las clases facilitará no sólo que sigamos lo que otros han hallado, sino que podamos también buscar la verdad por nosotros mismos” (Staples, 1985: 112, citada en Camacho, 2004: 204).

Sin embargo, la intervención estadounidense al país de 1846-1848, dejó una amplia frustración al centro de esas intenciones, de suerte que los planes de difusión, principalmente de España hacia México, se vieron rotos de nuevo. De esa manera, los *Principios* de Bails seguían en una posición hegemónica en el Seminario, al no contar con otras obras elementales alternativas. El profesor Manuel Castro, que impartía en 1848 la Primera Cátedra de Matemáticas, reflexionaba esto último de la siguiente manera:

Los sucesos infaustos de ese año, que conmovieron fuertemente los cimientos morales y físicos de la sociedad [...] sirvieron para frustrar todo el logro y resultado que era consiguiente a la indicada reforma [...] La falta de una obra de Matemáticas

adecuada a los estudios de este útil establecimiento, conforme y necesaria a los altos fines de él, ha sido como dije antes una rémora a sus mayores adelantos. Los elementos de Bails, si bien contienen los de la ciencia, no tratan ya algunas materias, de la misma manera que los Matemáticos de estos tiempos [...] (Díaz y de Ovando, 1994: 22, del documento original).

La situación con los *Principios* de Bails, era que no contaba con conocimientos modernistas, como por ejemplo aquellos de la *Geometría descriptiva* fincada por Monge en su obra elemental desde 1794, de suerte que la asignatura se desarrollaba en el Seminario con los apuntes escritos por el profesor, en tanto se les daban a los estudiantes para que los escribieran de forma manuscrita, quitándoles bastante tiempo del que dedicaban a los estudios. Por otro lado, en “los manuales de Bails se encontraban definiciones plagadas de todo tipo de errores, de modo que algunas de éstas se tomaban como teoremas, incluso en el caso de estos últimos se evitaban las demostraciones” (*op.cit.*: 23). En conclusión, los *Principios* de Bails eran obsoletos para la enseñanza de la ciencia de esa etapa de vida del Seminario. Sin embargo, los comentarios del profesor Castro dejan ver la preocupación por una enseñanza de la matemática donde las demostraciones de los teoremas tienden a cierto formalismo disociado de prácticas y técnicas externas a la matemática misma.

Aprovechando el abatimiento en que había quedado el país por la guerra con Estados Unidos (EUA), conservadores mexicanos como Lucas Alamán —empresario, político y minero— clamaban por imponer en el país una monarquía, posicionándola a través de un príncipe europeo, ya fuera español o francés (Gurría, 1951). Estas intenciones culminaron en el sistema educativo a partir de una extensa difusión de manuales para la enseñanza de diversas disciplinas, que vino a beneficiar principalmente al Seminario de Minería. La difusión arrastró obras

elementales que se utilizaban en los colegios franceses —se mencionan en el siguiente apartado—, no obstante, para la enseñanza del Cálculo diferencial e integral, los manuales de Bails fueron cambiados por los *Éléments de Calcul Différential et de Calcul Intégral* escritos en 1810 por el francés J. L. Boucharlat para los alumnos de la Escuela Politécnica. Aunado a ello, para 1853 se decretó la creación de la Escuela Práctica de Fresnillo, en la cual los colegiales desarrollarían la última etapa de su formación (Camacho, 2009).

El contenido de los *Éléments* es muy semejante al *Traité du Calcul de Lacroix*, la definición de la obra parte de las ideas de algebratización impuestas por Lagrange al Cálculo diferencial de finales del siglo XVIII. La siguiente expresión para la derivada de una función se sujeta a tales intenciones:

(y'-y)/h es la relación de variación de la función y respecto de la variable x [...] se ve que esta relación disminuye luego que h disminuye, y luego que h deviene nulo, esa relación se reduce a dy/dx (Boucharlat, 1810: 2).

En tanto, el concepto de función expresada por Euler como una *expresión analítica*, sin mediar en cuál de las variables es la dependiente e independiente, es utilizada por Boucharlat como: “Se dice que una variable es función de otra variable, luego que la primera es igual a una cierta expresión analítica compuesta de la segunda” (*ibid.*: 1). Los desarrollos en serie de funciones analíticas no evolucionaron respecto a los manuales de Bails, puesto que el teorema del binomio seguía siendo la herramienta con la cual eran posibles tales desarrollos.

Para esta época el Seminario se encontraba en una posición ventajosa. Se puede afirmar que los objetivos que se impuso originalmente Elhúyar en 1792, se mostraban realizados cerca de 60 años

después, en los cuales el Colegio se vio envuelto en vaivenes políticos e ideológicos que pusieron en riesgo su estabilidad y existencia como establecimiento educativo.

En los siguientes apartados se verá con más detalle la utilidad de la matemática escolar en la resolución de problemas que se imponían a los estudiantes en el Colegio.

El caso de un alumno regular

Juan B. Andonaegui fue alumno del colegio desde principios de 1850 y hasta finales de noviembre de 1859.³ El reporte de la *Clase Preparatoria*, octubre de 1851: Gramática, Lógica, cursadas con el texto de Lógica del autor español Jaime Balmes, y Aritmética, con el *Tratado de Aritmética* de Manuel Castro, y de la que era profesor Sebastián Camacho, le colocaba como estudiante de *media dotación* o media beca. Obtuvo una calificación en esta asignatura de *bueno*.⁴ Su colocación en los cursos de este año ocurrió posterior a su inicio, razón por la que no fue evaluado en algunas asignaturas como fue el caso de *Francés*. De las calificaciones que se han rescatado se tiene la de la materia: Primera Clase de Matemáticas, cuyo profesor fue Manuel Castro: Álgebra, Geometría y Trigonometría, desarrollada con los manuales de Bourdon y Vincent, fue evaluada en octubre de 1852 y acreditada con *bueno*. Pasó al Segundo Curso de Matemáticas: Trigonometría esférica, de la obra del profesor del colegio M. Castro; Geometría analítica, Series, del texto de Álgebra de M. Bourdon, y Cálculo diferencial e integral, con el manual de J. L. Boucharlat. En este curso fue condicionado por el profesor, ingeniero Blas Balcarcel “debiendo sancionarse en la parte que corresponde a las aplicaciones del álgebra”. En los dos primeros años (segundo y tercero oficiales) reprobó y curso de nuevo asignaturas como Geografía e Inglés.

³ Para la historiografía de Andonaegui se acudió al *Fondo del Colegio de Minería* del Archivo Histórico de la Universidad Nacional Autónoma de México (AHUNAM), IISUE, UNAM.

⁴ Véase: Fondo del Colegio de Minería, Folio 123, AHUNAM, IISUE.



En segundo y tercer año llevó las asignaturas de Geometría descriptiva, con el texto de J. A. Adhemar, siendo profesor Joaquín de Mier y Terán; Topografía y nivelación utilizando el Manual de Goulard et Henrionet, con el ingeniero José Salazar Ilarregui; Mecánica racional e industrial, texto de J. V. Poncelet, cátedra impartida por el profesor Miguel Bustamante. En cuarto y quinto año cursó, entre otras, Astronomía, con el manual de L. Francoeur, siendo su profesor el ingeniero José Salazar Ilarregui y Docimacia, con apuntes del profesor, ingeniero Patricio Murphy. A finales de 1858 concluyó el sexto año con las materias: Mineralogía, Geología y Paleontología.

Los resultados en sus primeras asignaturas dejan ver que no era un alumno que se distinguiera por buenas calificaciones, puesto que tampoco se encuentra en las listas de estudiantes que por ello merecían premios al final de cada año escolar, menos en las de alumnos exentados en los exámenes. Sin embargo, su *conducta y aplicación* en las diversas asignaturas que cursó en la carrera lo llevó a concluir la parte académica de su formación.

A finales de 1857, Andonaegui y otro grupo de estudiantes de la carrera de Ingeniería en Minas, fueron concentrados en la *Escuela Práctica* situada en Fresnillo, Zacatecas, a efecto de desarrollar la última etapa de estudios de su carrera. Los profesores que los acompañaron y dirigieron fueron el director de la escuela, ingeniero Miguel Velázquez de León, el profesor Pascual Arenas, que hacía las veces de laboratorista químico, y el profesor Diego Velázquez de la Cadena.⁵ En la mayoría de los casos, las prácticas que realizaron en este periodo se referían al *Laboreo de las Minas*.

En los cuatro primeros meses estudiaron la Exploración de minas en su aspecto teórico práctico con el Manual de P. M. Combes, alternando con Análisis químico, texto de Gerhardt et Chancel, así como Ordenanzas de minería. Los cuatro meses restantes

del primer año fueron dedicados a recorrer los distritos mineros cercanos a la escuela.

En los primeros ocho meses del año estudiaron asignaturas teóricas y prácticas como Metalurgia y Docimasia, con el texto de Rivot, Principios de construcción usando el texto de Piélagos, y Mecánica aplicada a las máquinas de minería, con los textos de Bresse, Jariez y los Apuntes del Profesor. Los últimos cuatro meses fueron dedicados al estudio de los Beneficios de los metales, sin considerar la plata. Al iniciar diciembre, todo el grupo: director, profesores y alumnos, partieron de prácticas a la región minera de Zacatecas durante varias semanas.

A lo largo de los dos años y medio de estancia en la *Escuela Práctica*, realizaron además ensayos y experiencias sobre el beneficio de metales, trabajos gráficos sobre las máquinas de minería, planos de topografía superficial y subterránea, procesos de amalgamación, así como fundiciones. De esa manera, enriquecieron con nuevas muestras las colecciones mineralógicas y geológicas del Colegio y Escuela.

A finales de agosto de 1859 profesores y alumnos: Juan Andonaegui, José M. Cesar, Celso Acevedo, Pedro L. Monroy, Manuel Ojinaga y Manuel Urquiza —acompañados de un capellán y dos mozos— partieron en expedición con destino final a la ciudad de México. La razón de esta misión era concluir los *estudios prácticos* visitando varios minerales. En septiembre arribaron a la población de Morán, en el actual estado de Hidalgo, donde realizaron una estancia de 15 días. Para alojarse rentaron una casa donde además instalaron un laboratorio y caballeriza. A lo largo de este breve tiempo visitaron las zonas mineras de *Huasca*, *El Zumate*, *Las Navajas*, *El Chico* y *La Barranca*. Posteriormente, y con el mismo objetivo, se asentaría en Real del Monte y Pachuca. La permanencia en la región les privilegió conocimientos más amplios de la actividad práctica-geológica y de explotación de las minas.

⁵ Los tres profesores que se citan habían egresado del Colegio de Minería alrededor de 1848.

El 22 de septiembre se unió al grupo el director del Colegio, Joaquín Velázquez de León, su interés era supervisar las actividades realizadas por docentes y alumnos. Del lado de los profesores, verificar las operaciones de los trabajos realizados sobre explotación de las minas y beneficio de los metales, revisar los apuntes con los que enseñaron la asignatura de Mecánica aplicada a la minería, los ensayos y experiencias sobre beneficio, así como la contabilidad de la escuela. La supervisión a los estudiantes incluyó las memorias escritas sobre las exploraciones, los trabajos gráficos sobre máquinas de minería, planos de las minas visitadas, detalles de las oficinas de amalgamación, fundiciones, colecciones mineralógicas y geológicas recogidas en las expediciones, entre otras cuestiones.

A principios de noviembre arribaron a la ciudad de México. Andonaegui sería examinado para la obtención del título el día 21, sus sinodales fueron los mismos profesores que le acompañaron en Fresnillo.⁶ A finales del mes tuvieron lugar los *Actos Públicos*, dentro de los cuales recibiría, casi diez años después de haber ingresado al Colegio, finalmente, el título de ingeniero.

La memoria para el examen último de práctica

El encabezado de la tesis presentada por Andonaegui, reza lo siguiente:

Los tres profesores de la Escuela Práctica de Explotación de Minas y Mecánica aplicada a las máquinas de Minería, D. Pascual Arenas, D. Miguel Velázquez de León, y D. Diego Velázquez de la Cadena, en su tránsito por esta capital para Guanajuato, procedieron al examen último de práctica, necesario para recibir el título de Ingeniero de

minas, apartador y beneficiador de metales, de D. Juan Andonaegui [...].

Con anticipación los sinodales le habían planteado tres problemas reales relacionados con el *Laboreo de Minas*, de los cuales solamente se transcribe enseguida el primero:

1º. Determinar el número de arrastres necesario para beneficiar en una hacienda de patio dos mil cargas de mineral duro semanariamente, expresando la construcción más propia de los arrastres, la fuerza motriz en metros cúbicos de agua, suponiendo una caída total de diez metros. La clase de motor hidráulico más conveniente y acompañando el presupuesto en las circunstancias de Pachuca.

El diseño de tahonas o arrastres

El trabajo práctico de laboreo de minas llevado a cabo por el grupo en Fresnillo, así como la expedición realizada, fueron fundamentales en el planteamiento para la solución de los problemas que se citan.

Los tres problemas de la tesis de Andonaegui tenían que ver con el total del proceso de *beneficio*. El que se plantea enseguida muestra la optimización del diseño de los *arrastres* o tahonas.⁷ El candidato a ingeniero describió estos *aparatos* según los llegó a conocer en las diversas minas visitadas durante los cursos prácticos de la siguiente manera:

Consiste en una excavación circular hecha sobre el piso de la galería [...] de un diámetro variable, según la fuerza motriz de que se disponga. Alrededor de la circunferencia se colocan losas de cantera rectangulares (sus dimensiones son variables de 0.15 m por 0.20 m), puestas verticalmente una a continuación de otra de manera que cierren el espacio [...] el

⁶ Andonaegui fue el único de los seis estudiantes que realizaron las prácticas que se presentó a examen. Manuel Ojinaga lo haría hasta septiembre de 1860; Celso Acevedo, con problemas de validez oficial, en septiembre de 1865, el resto no se consigna en las listas de titulados de estos años.

⁷ En lo que sigue solamente se analiza el primer problema. En algunos casos se ha colocado el texto original sin corrección gramatical alguna.



fondo está formado de piedras duras como el pórfido, basalto &c [...]. En el centro de este espacio se levanta un poste, cuyo medio se coloca en el tejuelo que recibe el guijo de un árbol vertical, terminado en la parte superior de un muñón que gira en su chumacera fija horizontalmente á una plancha de madera (*gualdrilla*), sostenida en sus extremos por los pilares y muros de la galera. A la altura de un metro [...] sobre el fondo de la *tahona*, atraviesan al peón en ángulo recto, dos vigas de encino que llaman *cruces*; sobre una de ellas, y atravesando el peón, se coloca un espeque que sobresale 1.50 m fuera de la circunferencia del *arrastre* y del cual tiran una ó dos mulas que hacen mover el aparato. Cada brazo de la cruz arrastra una gran piedra prismática llamada *voladora* [...] de la misma naturaleza que las de fondo y de dimensiones variables entre 0.95 m de altura, por 0.35 m á 0.40 m de espesor y 0.40 m á 0.45 m de ancho, de un peso de 8 a 10 qqs. En las extremidades de estas piedras se hacen dos agujeros en que se fijan estacas y de aquí se sujetan las cadenas ó reatas que se amarran en la cruz correspondiente. Para que estas piedras rocen en toda la superficie del fondo, se colocan alternativamente una que toque al poste de en medio y la otra la circunferencia (Díaz y de Ovando, 1994: 52-58 del documento original).⁸

En su conjunto, la operación que lleva a la etapa química de amalgamación del metal extraído de las minas, sufría antes una suerte de *preparación mecánica* que consistía en reducir los grandes trozos de material extraídos a fragmentos de dos a tres pulgadas cúbicas, desechar el material estéril, operación que se realizaba con picos, mazos y hasta piedras en los *patios de quebradero*. De esta forma el material era transportado a las *haciendas de beneficio*, donde entraban a la *molienda*. Este último proceso se llevaba a

efecto con molinos de cilindros movidos por máquinas de vapor. En los casos más comunes se empleaban morteros hechos de mazos secos que se movían con mulas. Se reducía así el material a *fragmentos del tamaño de un garbanzo*, donde, incluso, iba parte de éste último en polvo. Se pasaba luego a los *arrastres*, dispuestos a lo largo de una galera, donde era reducido a sólo polvo fino, cuyo contacto con el agua produciría una *lama*, metal molido con agua, la cual se vaciaba diariamente en unos cajones o barriles donde, en su momento, se procedía a *ensalmorar*, incorporando el *magistral*, o sea sulfato de hierro y cobre, cal y cenizas vegetales. Posteriormente se realizaba un *ensaye* o reacción de ácido nítrico con el material pórfido, el ácido disolvía la plata y el oro se asentaba bajo la forma de polvo pardo. La parte final del procedimiento era la separación de los materiales.

En el diseño del *arrastre* o *tahona*, que describe Andonaegui, no consignó ninguna figura. Se muestran enseguida algunos esquemas de cómo debieron ser los molinos. Además, se trata de aclarar el sistema metrológico utilizado.

En lo que se refiere a las unidades de capacidad que se hacen ver en la tesis: 1qq (un quintal) correspondía a 46.01 kg que se equiparaban con 4 *arrobas*. Una *carga* significaba 12 *arrobas* y 10 *cargas* hacían un *montón*.

Si se pedía cuantificar 2 000 *cgs* (*cargas*) de material a la semana, se hacía referencia a 276 000 kg actuales, o sea 276 toneladas. Siendo 286 *cgs*=858 *qqs* diarios, esto hace 39 468 kg, es decir, en promedio 40 toneladas diarias, cargándose cada *tahona* con 897 kg=19.5 *qqs*, o bien 6.5 *cargas* (1 *carga*= 138 kg), poco más de medio *montón*.

Considerando que cada *arrastre* podía ser cargado con 20 *cgs*, Andonaegui estimó para las 2 000 *cargas* de material 44 *arrastres*, que resultan de la división:

$$(39,468 \text{ kg/diarios})/(897 \text{ kg}) \approx 44 \text{ arrastres.}$$

⁸ En lo que sigue se ha evitado citar las páginas correspondientes donde aparece el escrito de la tesis de Andonaegui. No obstante, la resolución de los tres problemas se muestran entre las páginas 52 a 70 del Anuario original del año de 1859.

Figura 1. Diseño de tahona o arrastre con espeque para ser movido por tracción animal, como el que sugiere Andonaegui en su proyecto

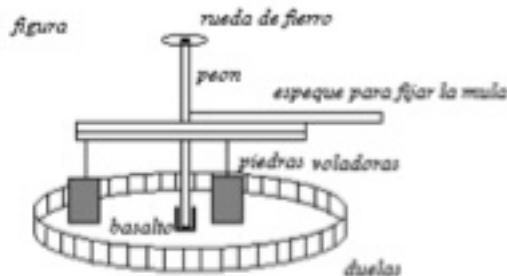
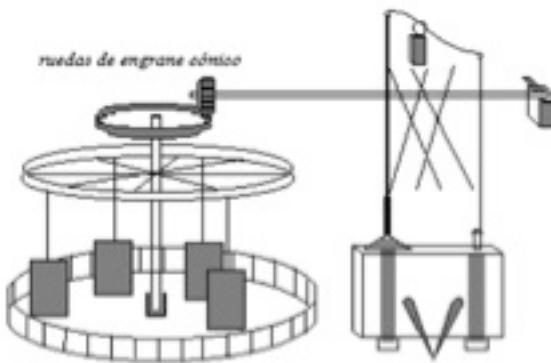


Figura 2. Tahona movida por un motor de vapor de doble efecto, según las apreciaciones de Andonaegui



Uno de los artefactos de uso en la molienda de material de las minas fueron las *máquinas de vapor de cilindro y émbolo*, movidas por la expansión y condensación de vapor. El vapor, que venía de una caldera de elevada presión y temperatura, entraba al cilindro empujando al émbolo moviéndolo suficientemente, tal acción activaba una válvula que permitía el acceso del vapor lográndose el movimiento circular del eje y piñón. Con este proceso era posible mover con un solo arrastre hasta cuatro *piedras voladoras*, como se aprecia en la figura 2. En palabras de Andonaegui:

1º [...] Los motores que he visto aplicar á estos aparatos, son: 1a. Máquinas de vapor de doble efecto, expansión y condensación establecidas en Fresnillo, que ponen en movimiento doce grandes tahonas.

En el eje del volante de esta máquina están montadas ruedas de engrane cónico que hacen girar el eje ó peón de la *tahona*, engranando con otra rueda de mayor diámetro montada en la parte superior del eje; en éste está también montada otra rueda de fierro de ocho brazos, en la cual se enganchan las cadenas que tiran las piedras voladoras.

Algunas de las máquinas de vapor que se utilizaban para este fin contenían cuatro pares de cilindros de hierro colado, siendo el diámetro de cada cilindro de 1 vara y 8 pulgadas (cerca de un metro). Una sola de estas máquinas llegaba a mover hasta doce tahonas grandes (de 5 metros de diámetro con 4 piedras voladoras cada una).

Los motores hidráulicos fueron descritos de la siguiente manera:



2o. Ruedas hidráulicas o de cajones, que reciben oblicuamente el agua por encima. En el eje de esta rueda, á uno y otro lado, está montado un piñón cónico que engrana con la rueda puesta en el eje de la tahona. Está montada en este mismo eje una pieza hexágona de fierro fundido, que lleva cuatro pequeñas canales horizontales en que se acomodan las cruces y están sujetas por pasadores.

Las ruedas o motores hidráulicos podían ser movidos admitiendo el agua por la parte superior o inferior de la misma, empero, en todos los casos se prefería la admisión superior del líquido por producir mayor

fuerza motriz. Por su diseño, las ruedas hidráulicas no podían girar demasiado aprisa, ya que el agua tendía a salirse de los cajones o cucharas, perdiéndose con ello potencia. Por tal razón, su velocidad no debía superar un metro por segundo, dependiendo de su diámetro.

3o. Mulas ó caballos que tiran del espeque de esta máquina; una para mover las tahonas chicas y dos para las de marca. La restricción de este último modelo se daba por la poca cantidad de material con que se cargaba el arrastre, así como por la lentitud de la molienda. Su efectividad se verificaba por los bajos costos de tracción o movimiento.

Figura 3. Tahona movida a través de una turbina hidráulica

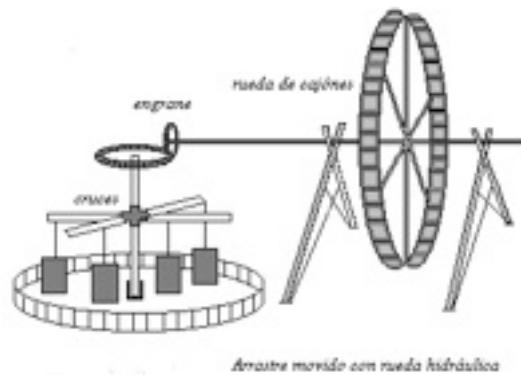
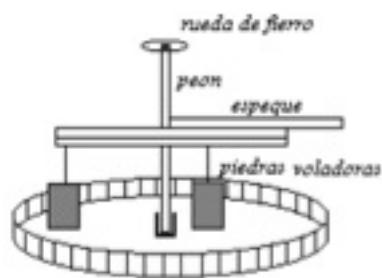


Figura 4. Arrastre o tahona movida por una sola mula



Fuerza motriz y motores hidráulicos

Los puntos de comparación presupuestarios de Andonaegui fueron las minas de Fresnillo en las que, como se vio, llevó a cabo sus prácticas mineras. Para esta época las tahonas grandes, movidas con motor de vapor, se llegaban a cargar con dos montones de 20 quintales, es decir con 920 kg moliendo cada una a la semana hasta 2.4 toneladas. El costo por *montón* repartido era, según Andonaegui:

Costo del motor.....	\$ 1 670
“ de molienda.....	406
Resulta de.....	2 076

Las tahonas comunes movidas con motor hidráulico, se cargaban con diez quintales, dando de ocho a nueve cargas a la semana. El costo por montón repartido con este modelo quedaba en:

Costo del motor.....	\$ 768
“ de molienda.....	904
Resulta de.....	1 672

En el aspecto económico resultaba evidente que la molienda estaba a favor de las tahonas movidas por motores de vapor, la diferencia es de \$498 con respecto a las movidas con motor hidráulico. Sin embargo, la diferencia del costo de motor en ambos sistemas consistía en la gran pérdida de fuerza motriz en la transmisión de movimiento que tienen las tahonas de vapor, restringiéndose su aplicación por las frecuentes y costosas reparaciones de que eran objeto, así como a lo difícil de su diseño, construcción, compra y traslado, generalmente de Europa.

Con la limitación de estos resultados, Andonaegui propuso inicialmente mejoras a los *arrastres* movidos por tracción animal, así, recomendaba:

1a. Colocar el espeque alto para que la mula tire debajo de él y se aproveche mayor fuerza. Las mulas

se pondrán una en cada extremidad del espeque para que no se fatiguen y produzcan mayor trabajo.

2a. Colocar las cruces abrazando al peón, o bien poniendo una pieza de fierro con canales horizontales para recibirlas, como se hallan dispuestas las tahonas de la hacienda de Regla; pues atravesando al peón lo debilitan.

3a. Sustituir las lías de las piedras voladoras con cadenas de fierro, y darles la menor inclinación posible para que se aproveche mayor peso de la piedra de que depende el efecto útil de la *tahona*.

4a. Disponer las piedras voladoras de manera que el peso de las dos que llevan la cruz perpendicular al espeque, sea poco más ó menos igual y, que el peso de la piedra de la cola del espeque sea menor que la que lleva éste; así se conseguiría el equilibrio de la máquina.

En tanto problema fundamental, la pérdida de fuerza motriz y descomposturas, así como los altos costos de reparación, hicieron que Andonaegui declinara la participación de las máquinas de vapor en la solución de su problema de tesis. Los motores hidráulicos vinieron a ser *los más convenientes para aplicar a los arrastres*. En su predilección por los motores movidos por la fuerza del agua, tuvieron que ver dos cuestiones importantes: primero, se amoldan bien a la topografía de la *galera* y, segundo, convienen por la altura de la caída, diez metros, que se exige en el problema.

Para evitar la pérdida de fuerza motriz, convino en disponer ruedas hidráulicas cuyo diámetro fuera de un promedio tal que permitiera utilizar una para cada dos tahonas, ya que utilizar una sola para más de dos precisaría de establecer ejes y ruedas de engrane, cuyos rozamientos harían aumentar considerablemente la pérdida de fuerza motriz.

Dividiendo la *galera* en dos gradas de cinco metros de altura cada una, logró colocar 22 arrastres por grada, de modo que para cada grada se hicieron necesarias 11 de estas ruedas, o sea 22 en total. La conveniencia económica de esta disposición tuvo la



ventaja de poder reproducir en la segunda grada la caída del agua que debía ocurrir para la primera. Se requería cierta amplitud lineal de la galera para disponer ese número de arrastres, 80 a 100 metros aproximadamente, y la topografía del lugar debía tener la forma escalonada necesaria.

Elementos técnicos para el diseño

Los arrastres ordinarios requerían de un trabajo útil de cuatro *caballos* y uno más para el *trabajo motor*; por tanto, cada rueda necesitaba de una potencia de cinco *caballos*, o sea 55 *caballos* para el sistema de la grada de arriba y en general para todo el sistema, con un ahorro potencial de esta misma cantidad gracias a la reproducción de la caída de agua. El inconveniente técnico de esta idea se encontraba en la necesidad de construir *saetines* o canales para la conducción del agua hasta la galera y rueda hidráulica, y obviamente

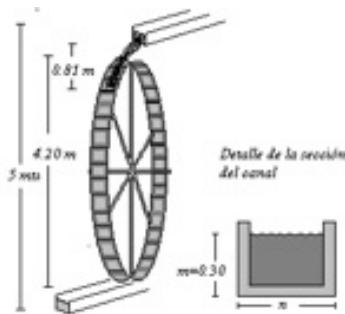
para su salida, lo cual, aún así, resultaba más económico que con el uso de turbinas de vapor.

La distribución de la caída de agua y altura de la rueda hidráulica se estableció tomando en cuenta la altura natural de 5 metros, como sigue:⁹

Altura del agua en el chiflón	0,m30
Altura del agua en el cauce	
para que la rueda no se sumerja	0,m30
Separación de la rueda del fondo	
del chiflón y de la superficie del	
agua en el cauce	0,m20
Total	0,m80
De modo que el diámetro	
de la rueda es de	4,m20
Altura de la caída	5,m00

La siguiente figura ayuda a entender esa intención:

Figura 5. Aprovechamiento de la caída de agua para mover una rueda hidráulica



⁹ He dejado la notación original.

La velocidad conveniente para las ruedas de ese diámetro fue, en tanto la experiencia de los Reales mineros visitados, por lo menos de 3 m, por seguridad Andonaegui dio un tercio más a la velocidad del agua, es decir 4 m. Usando la fórmula para la caída libre $v = \sqrt{2gh}$, determinó la altura del agua que va de la boca del saetín al contacto con la rueda, esto es:

$$h = v^2 / 2g = 0.81 \text{ m}$$

Al diámetro libre de la rueda llegó restando a los 5 m la caída libre y la altura del agua en ambos saetines, o sea:

$H - (h - 2m)$, que será igual a: $5.00 - (0.81 + 0.60) = 3.59 \text{ m}$

De aquí que la diferencia de velocidades entre el caudal y la rueda, quedó como:

$$V-v = 1.00 \text{ m}$$

Y el caudal, *Gasto*, de agua por rueda:

$$E = Pv / (780(H-h) + 102(V-v)v) = (375 \text{ kg}) / (780 \times 3.59 + 102 \times 1 \times 3) = 0.120 (\text{m}^3/\text{min})$$

Relación en la que Pv es el *trabajo* con que el agua mueve la rueda, es decir $Pv = \text{Fuerza} \times \text{distancia}$.

Por experiencia, Andonaegui sabía que el trabajo motor absoluto de los motores hidráulicos no rebasaba los 7.5 gramos/cm. Si se tiene una caída de 5 m, y se convierte a unidades en metros, queda: $Pv = 75 \text{ kilos/metros} \times 5 \text{ m} = 37.5 \text{ kg}$, multiplicando por diez se obtiene por comodidad los 375 kg del numerador.

La cantidad del denominador $780(H-h) + 102(V-v)v$ consigna las pérdidas del líquido a partir de la diferencia de alturas de la caída, la presión atmosférica en el interior de la galera y la diferencia de velocidades rueda-líquido. Para las 11 ruedas se requería de un caudal de $0.120 \times 11 = 1.32 (\text{m}^3/\text{seg})$, o bien, a consecuencia de las pérdidas no consideradas, redondeo a $1.50 (\text{m}^3/\text{seg})$.

Para hacer llegar el agua a la boca del canal bastaba con una velocidad media de 1 m, que requirió una caída de 0.005 m —que venía a ser la pendiente del chiflón— eligiendo para la altura de la corona 0.30 m *conforme a la buena práctica*. Para la altura de la *vena en la boca del chiflón* (altura del agua en la sección del canal) de nuevo la experiencia permitió estimar, quedando esta última de 0.20 m .

El volumen E dividido por la velocidad y por la altura de la vena dará la anchura del chiflón:

$$E / (1 \times 10) = 0.120 / 0.20 = 0.60$$

En la determinación del ancho del chiflón observe que se utiliza la fórmula para el gasto, es decir:

Gasto = Área de la sección del canal x velocidad.

En este caso: $mn = \text{Gasto} / \text{velocidad}$, o bien: $n = \text{Gasto} / (\text{m(velocidad)}) = 0.120 / (1.00 \times 0.20) = 0.60 \text{ m}$, por lo tanto para mayor seguridad el ancho de la rueda será de: 0.70 m (figura 5).

La circunferencia útil de la rueda corresponde al diámetro $4.20 \text{ m} - (3/2)$, altura de la corona (de la rueda) = $4.20 \text{ m} - 0.45 \text{ m} = 3.75 \text{ m}$, y es de 11.78 m . O bien a $\pi \times (\text{diámetro útil de la rueda})$, es decir: $\pi \times 3.75 = 11.78 \text{ m}$.

El número de vueltas que debe dar por un $1'$ será: $n = (60v / pd) = (60 \times 3) / (11.78) = 15.3$ vueltas.

Para que el arrastre dé 6 vueltas por $1'$ estableceremos el engrane en la razón de: $(6 / 5.5)$ y dando a la rueda horizontal 1.40 m de diámetro, se tendrá para el piñón vertical $((1.40 \times 6) / 15.3) = 0.55$.

Observaciones al proyecto

La experiencia de conocer modelos de ingeniería similares a los propuestos, fue lo que llevó de la mano a Andonaegui en la resolución del problema. Varias de las decisiones que tomó para el diseño tienen que ver con un empirismo surgido de su estancia en las minas. Expresiones como las siguientes reflejan este carácter:



- La velocidad de la rueda hidráulica no debe ser mayor a 1 m, pues se sale el agua de los cajones.
- Los arrastres ordinarios utilizan un trabajo útil de 4 caballos, y uno más para el trabajo útil, luego, la rueda necesita de una potencia de 5 caballos.
- La velocidad de la rueda es de 3 m, de acuerdo con la experiencia, entonces, la velocidad del agua será de 4 m.
- Si la velocidad media del agua es de 1, **luego**,¹⁰ la pendiente del canal es de 0.005 m, 0.30 m la altura de la corona y 0.20 la altura de la vena.

En otros casos, a un resultado teórico previamente determinado, le hizo corresponder un dato empírico consecuente con el primero. Como por ejemplo en el siguiente caso:

Si el ancho del canal es: $n = \text{Gasto}/(\text{m(velocidad)}) = 0.60$, entonces, el ancho de la rueda es de 0.70m.

Los elementos del problema fueron involucrados en un modelo de proporciones para obtener resultados. Véanse las siguientes situaciones:

1. La circunferencia útil de la rueda corresponde al diámetro de $4.20 - 3/2$ de la corona. Los $3/2$ están en proporción del diámetro.
2. Para que el arrastre de 6 vueltas por 1', estableceremos el engrane en razón de $6/15.3$, es decir: $(\text{diámetro del piñón})/(6 \text{ vueltas}) = (\text{diámetro de la rueda horizontal})/(\text{número de vueltas})$.
3. $E/(1 \times 20) = 0.120/0.20 = 0.60$

Los pocos símbolos que se usan en las fórmulas indican una tendencia a sólo evocarlas mediante el uso del lenguaje. Ello hace innecesario bosquejar

gráficas para clarificar lo que se dice con palabras. El lenguaje descriptivo que se utiliza pareciera suficiente.

El uso de variables se restringe a utilizarles como incógnitas, es el caso para la determinación de la caída del agua h , el caudal E y la potencia Pv . La utilidad del Cálculo diferencial está implícita en las fórmulas análogas para cada uno de estos elementos, toda vez que no se pone énfasis en su definición, son fórmulas diluidas del contexto infinitesimal previamente establecidas. En este sentido, la *velocidad* en el proyecto no es vista como un diferencial, sino más como *cantidad*.

En cuanto a los fundamentos que organizan la optimización del problema, sobresalen dos cuestiones mutuamente relacionadas: por un lado, la economía en el diseño como eje central del proyecto y, por otro, la optimización y potencia del arrastre a partir de los conocimientos de ingeniería:

- La *pérdida de fuerza motriz* que es el punto central sobre el que giran las decisiones de Andonaegui. En todo momento su intención fue minimizarla.
- El uso de una galera escalonada para disponer 22 arrastres que le reportaron una economía en la potencia del agua para mover las ruedas (ventajosamente) de la segunda caída.
- La aplicación de ruedas hidráulicas que evitan los altos costos desviados al usar motores de vapor.
- El uso de la fórmula: $E = Pv/(780(H-h) + 102(V-v)) = (375 \text{ kg})/(780 \times 3.59 + 102 \times 1 \times 3) = 0.120(\text{m}^3/\text{min})$, para determinar el caudal o gasto del sistema.

De los inconvenientes técnicos en los que Andonaegui no reparó para la solución del problema, podemos referir dos:

¹⁰ Las negrillas de las implicaciones son del autor.

1. El ambiente topográfico de la galera no asegura su semejanza con la intención escalonada que sugiere, es decir nada puede afirmar que la realidad de la topografía de la mina sea análoga con su propuesta. El presupuesto con estas condiciones pudo, a la larga, salir más caro en proporción con el ahorro en fuerza motriz que se pondera.
2. No se hace ver la distancia desde la cual habría de acarrearse el agua hacia los saetines.

Conclusiones

La tesis de Andonaegui es de los primeros testimonios técnicos que ofrecen un modelo físico, descriptivamente geométrico, para el diseño de las tahonas o arrastres. Con la interpretación técnica del modelo de *tahona* el autor intenta, lográndolo, optimizar tanto el presupuesto de su diseño como la economía de su aplicación.

El proyecto deja ver el modelo de formación de los ingenieros mineros de esa época, al aplicar en conjunto diversos conocimientos técnicos: hidráulica, mecánica, topografía, diseño, laboreo de minas y mineralogía, que justifican claramente una enseñanza multidisciplinaria.

La matemática es utilizada conjuntamente con la experiencia práctica como herramienta de apoyo en la solución del problema. Se observa que esta disciplina no se distinguía, al menos en el proyecto, por su carácter abstracto. De la tesis destacan sólo elementos de la matemática académica, como la noción de *cantidad*, que tienen una aplicación inmediata en la solución del problema, así como, con toda libertad, conocimientos empíricos que surgen de las técnicas utilizadas de otras disciplinas para su resolución. Así, se puede hablar de un estado de institucionalización de conocimientos empíricos en la resolución de los problemas de ingeniería, fincada en el Colegio a través de los años y a partir de la búsqueda de su resolución.

La enseñanza práctica desempeñó un papel central en la formación de los egresados del Colegio,

quienes, por lo limitado de los grupos (sólo seis alumnos para la instrucción), pasaban bastante tiempo bajo la enseñanza de sus profesores. Los nexos de la matemática con los cursos prácticos se afianzaron gracias a la asociación que se hacía entre la rutina teórica de las asignaturas y su evidencia en la realidad de las minas y haciendas de beneficio.

La Escuela Práctica de Fresnillo trajo consigo la reivindicación del carisma del *ingeniero* egresado del Colegio, consolidando su formación a la manera de las escuelas de ingeniería europeas, con nuevos cursos como el de Mecánica racional y aplicada, textos como los *Éléments* de Boucharlat (1810), mejores gabinetes y laboratorios para la Física, Química, Mineralogía y Geología, tanto en la Escuela de Práctica como en las instalaciones del Seminario, teniendo un *gabinete* zoológico, observatorios Astronómico y Meteorológico, una amplia biblioteca que en 1858 recibió 300 nuevos volúmenes, y contando con la subvención económica de los mineros nacionales y del propio gobierno. Se distingue en esta época el establecimiento de los grandes y graves problemas por los que atravesaba diez años atrás en 1848 debido a la guerra con los EUA y a los riesgos a que estaría sujeta entre 1860 y 1861, lapso en que desaparece la Escuela Práctica de Fresnillo, limitándose la instrucción práctica solamente a la región de Pachuca.

La reseña del año escolar para 1859, cuyo discurso pronunció el director del Colegio ingeniero Joaquín Velázquez de León, atestigua lo anterior:

Con los conocimientos teóricos que llevan los alumnos a la Escuela Práctica [...] y con las lecciones de aplicación que en el sistema vigente reciben en las minas y en las haciendas de beneficio, no sólo en el lugar donde está radicada la escuela, sino en las excursiones que ésta hace con sus profesores por los diversos y principales distritos minerales, es como realmente se pueden formar verdaderos ingenieros de minas, y de esto acaba de presentarse la prueba en el examen del último año de práctica verificado



en el alumno que va a recibir como premio el título que le concede la ley en esta solemne distribución (se refiere a Andonaegui) (Reseña del año escolar, leída por el director Joaquín Velázquez de León, en la solemne distribución de premios del día 29 de noviembre de 1859. Citado en Díaz y de Ovando 1994: 32, del documento original).

Andonaegui fue el primer egresado del Colegio de Minería que obtuvo su título a partir de la estancia que realizó en la Escuela Práctica de Fresnillo.

La imposición en México de Maximiliano de Habsburgo hizo que a partir de 1864 el Seminario cambiara su denominación por el de Colegio Imperial de Minería, con todas las prerrogativas educativas de la Escuela Politécnica francesa. No obstante, las Leyes de Instrucción Pública juarista de 1868 le otorgaron la dignidad que actualmente se le reconoce, con el nombre de Escuela Nacional de Ingenieros, abierta a la formación de todo tipo de estudiantes sin menoscabo de su posición política, ideológico económico. ■

Referencias

- Bails, B. (1789), *Principios de Matemática de la Real Academia de San Fernando*, Madrid, Imprenta de la Viuda de Ibarra (2^a. Ed., Tomo II).
- Boucharlat, J. L. (1810), *Éléments de Calcul Différential et de Calcul Intégral*, París, Mallet-Bachelier.
- Camacho, A. (2009), *Difusión de conocimientos matemáticos a los colegios mexicanos del siglo XIX. De la noción de cantidad al concepto de límite*, Madrid, Díaz de Santos Editores.
- Camacho, A. (2004), “Difusión de conocimientos matemáticos a los colegios mexicanos del siglo XIX”, en *Cronos*, 7 (2), pp. 201-226, Valencia, Universitat de València.
- Díaz y de Ovando, C. (1994), *Anuarios del Colegio Nacional de Minería 1845, 1848, 1859, 1863*, México, UNAM (Edición Facsimilar).
- Fritz de la Orta, G. O. (1983), “El estudio del Real Seminario de Minería. Estudio comparativo con la facultad de ingeniería”, Notas sueltas inéditas recuperadas por el autor en la Biblioteca del Seminario de 1994 a 1995, México.
- Gurría, J. (1951), *Las ideas monárquicas de don Lucas Alamán*, México, UNAM-Instituto de Historia (núm. 24).

Cómo citar este artículo:

Camacho-Ríos, Alberto (2016), “La matemática escolar en el Colegio Nacional de Minería de mediados del siglo XIX”, en *Revista Iberoamericana de Educación Superior (RIES)*, México, UNAM-IIISUE/Universia, vol. VII, núm. 20, pp. 97-112, <https://ries.universia.net/article/view/1236/matematica-escolar-colegio-nacional-mineria-medios-siglo-xix> [consulta: fecha de última consulta].