

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
SISTEMA DE UNIVERSIDAD ABIERTA**

**“De malacates y socavones a la máquina de vapor”
Las bombas hidráulicas para el desagüe de minas movidas con
agua y por bestias, diseñadas por Andrés del Río y Fausto de
Elhuyar: 1800-1819.**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO
DE LICENCIADO EN HISTORIA
P R E S E N T A
RAÚL ROGERIO FERNÁNDEZ BRAVO**

ASESORA DE TESIS: DRA. CARMEN YUSTE LÓPEZ

Febrero del 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

Dedico este trabajo:

A Julia y Nicolás por su apoyo.

A mi familia: Martha, Rocío, Alejandro, Miguel, Vero,
Claudia, Eulalia, Yolanda, Carmen, Elena, Manuel,
Toño, Paty, Raúl-Manuel, Wyatt, Vincent, Dana, y
Emiliano.

A mis amigos: Noemí y Margarito.

Agradecimientos.

Agradezco a todos los que han luchado por mantener a la UNAM pública y gratuita, sin ello no hubiera podido terminar esta licenciatura.

Igualmente agradezco el estímulo de mis compañeros de generación; en particular agradezco la amistad de: Silvia, Isabel, Víctor y Héctor. Su colaboración en los trabajos que hicimos juntos, las charlas y discusiones semanales hicieron que los cuatro años se fueran volando.

Esta tesis se terminó gracias a la colaboración y apoyo de mi asesora la Dra. Carmen Yuste López, y a las correcciones y sugerencias de mis sinodales: Dra. Pilar Martínez, Profesor Raúl Domínguez, Dra. Natalia Fiorentini y la Dra. Ivonne Mijares.

El Maestro Javier Morel me orientó en la etapa inicial y la Dra. Natalia Fiorentini siempre me estimuló para seguir adelante a lo largo de la investigación, estoy ampliamente agradecido con ellos.

La labor de investigación se hace agradable cuando se cuenta con el apoyo del personal de los archivos y bibliotecas. En particular agradezco el apoyo entusiasta en esta materia a Araceli Monroy del AHCRM P y a Omar Escamilla encargado del AHPM.

Esta tesis pudo fructificar gracias a todos estos apoyos. Estoy inmensamente agradecido con todos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
I. MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL DESAGÜE DE MINAS ENTRE 1800-1819	8
I.1. Antecedentes.	8
I.2. Dos propuestas modernizadoras para la minería: la máquina de vapor y las bombas hidráulicas movidas por agua y por bestias.	12
I.3. Dificultades para introducir la tecnología de vapor.	27
I.3.1. Los problemas en los Reales de Minas para admitir la máquina de vapor.	27
I.3.2. Falta de liquidez de los mineros para introducir la máquina de vapor.	33
I.4. Dificultades al implementar la tecnología de vapor.	36
I.4.1. Tropiezos de las compañías inglesas que trajeron la máquina de vapor.	36
I.4.2. Caso particular: Real del Monte.	41
II. MÁQUINA DE COLUMNA DE AGUA.	50
II.1. Origen centroeuropeo de la máquina de columna de agua.	52
II.2. Instalación de la máquina de columna de agua en Morán, Real del Monte.	56
III. BOMBAS HIDRÁULICAS MOVIDAS POR BESTIAS.	70
III.1. Dos teorías sobre construcción de bombas hidráulicas: Belidor y Langsdorf.	73
III.2. Instalación y funcionamiento de máquinas hidráulicas movidas por bestias en Real del Monte.	83
IV. LAS PRIMERAS MÁQUINAS DE VAPOR EN MÉXICO.	86
CONCLUSIONES.	93
ANEXOS.	98
FUENTES Y BIBLIOGRAFÍA.	113

Introducción

El presente trabajo, es un estudio histórico del proceso tecnológico y científico en la minería en Nueva España a finales del periodo colonial. El enfoque de este estudio permite entender el desarrollo tecnológico como una actividad marcada por el contexto en el que tiene lugar. Los testimonios recabados durante el presente proceso de estudio, consistentemente, hacen referencia a las preocupaciones tecnológicas relacionadas con la extracción del agua en las minas inundadas a inicios del siglo XIX.

Este estudio documenta el desarrollo de la tecnología hidráulica para el desagüe de minas durante el periodo 1800-1819 en la Nueva España. En particular se examina el caso de la máquina de columna de agua y las bombas movidas por bestias que intentaron sustituir al malacate en el desagüe de las minas, ante las dificultades técnicas para introducir las máquinas de vapor. El diseño, construcción, instalación y funcionamiento de las mencionadas bombas hidráulicas, respalda la existencia, en las primeras décadas del siglo XIX, de una comunidad conformada por el Colegio de Minería, profesionales y dueños de minas, que adquirieron y pusieron en práctica nuevos conocimientos científicos y tecnológicos para resolver el problema del desagüe en las minas de considerable profundidad. Se analiza así, el proceso de instalación y funcionamiento de la máquina de columna de agua diseñada por Andrés del Río para desaguar la mina de Morán en Real del Monte. De igual forma se estudia el proceso de invención y construcción de bombas delineadas por Fausto de Elhuyar y el Colegio de Minería, susceptibles de ser movidas por bestias ante la falta de corrientes de agua, y con un costo de producción bajo para que pudieran ser adquiridas por el minero medio.

Como componentes centrales del análisis, por un lado, se revisa la comprobación de una nueva teoría para la construcción de bombas hidráulicas, lograda por Fausto de Elhuyar y el Colegio de Minería después de un año de experimentos. Un diseño de bomba que reducía el diámetro del tubo de elevación a solo una pulgada y media, haciéndola eficaz y económica, y sin afectar significativamente su funcionamiento. Con este nuevo diseño de bomba comprobaron que los parámetros establecidos por el ingeniero e hidráulico francés Bernard Forest Belidor no eran correctamente calculados en relación al grosor del tubo de elevación, en cambio, el diseño de Elhuyar corroboró que, los cálculos del grosor del tubo de elevación resultaban más aplicables con las fórmulas y principios del matemático e hidráulico alemán Karl Von Langsdorf. Y por el otro, se examina la argumentación que Fausto de Elhuyar y Andrés del Río esgrimieron en sus dictámenes, que prevenían los obstáculos que se debían solucionar antes de introducir las máquinas de vapor en los reales de la Nueva España. Dichos argumentos, al no ser debidamente analizados y atendidos, se materializaron veinte años después en serios problemas para las compañías inglesas que introdujeron esta tecnología en México.

En el primer capítulo se exponen las dos propuestas modernizadoras para el desagüe de minas. Una, la de la Corona española que proponía una transferencia tecnológica, es decir, traer de Inglaterra las máquinas de vapor. La otra, del Colegio de Minería, que presidía Fausto de Elhuyar, quienes propusieron la máquina de columna de agua y las máquinas hidráulicas movidas por bestias, construidas con tecnología propia. La propuesta del Colegio de Minería como opción a la falta de combustible (carbón mineral o madera) que requería la máquina de vapor para su funcionamiento. El Colegio de Minería además

propuso, como medida alternativa, la construcción de la máquina de vapor con tecnología propia adaptándola a las necesidades de cada mina.

En el segundo capítulo se hace una descripción de la máquina de columna de agua diseñada por Andrés del Río introducida en la mina Morán de Real del Monte. Asimismo, se describen todas las dificultades que se tuvieron que superar para poder llevar a cabo el proyecto.

El tercer capítulo se refiere al proceso de diseño y funcionamiento de las bombas hidráulicas movidas por bestias. Particularmente se señala que, al diseñar estas máquinas, Fausto de Elhuyar y el Colegio de Minería encontraron errónea la teoría de construcción de bombas hidráulicas usada comúnmente en Europa, en cambio, las bombas diseñadas por el Colegio de Minería comprobaron una nueva teoría para fabricar bombas hidráulicas.

El capítulo cuarto, refiere como fue que llegaron y se instalaron las primeras máquinas de vapor en México. Incluye una descripción de sus partes y funcionamiento.

Este trabajo se realizó con base en la revisión, selección e interpretación de documentos o fuentes primarias, en gran parte inéditos, recopilados en diferentes archivos del país, entre ellos: el Archivo General de la Nación (AGN), el Archivo Histórico de la Compañía Real del Monte y Pachuca (AHCRRMP), y el Archivo Histórico del Palacio de Minería (AHPM). Además se consultó el Fondo Reservado de la Biblioteca Nacional, así como varias bibliotecas de la UNAM y de la Universidad de California en Berkeley.

I. MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL DESAGÜE DE MINAS ENTRE 1800-1819

I.1. Antecedentes.

La inundación de las minas fue probablemente el mayor obstáculo que afrontó la minería colonial en los tres siglos de dominación española. Las filtraciones de agua arruinaban en poco tiempo las vetas más florecientes. Después de inundadas, las minas permanecían anegadas largos años hasta que un osado emprendedor minero arriesgaba buena parte de su capital para intentar su desagüe y rehabilitación. La mina rehabilitada tenía un nuevo periodo de explotación, hasta que el nivel creciente de las aguas obligaba al minero a abandonar las labores¹

Multitud de escritos oficiales y técnicos de la época, redactados tanto por burócratas de la administración colonial, cuanto por mineros y empresarios, dan testimonio de la ruina de las minas por causa de las inundaciones, sin que se pudiera recurrir a métodos verdaderamente eficaces para contrarrestar tan grave daño².

¹ David Brading documenta que “[...] la veta Vizcaína, comenzó a tener dificultades al llegar los tiros mas abajo del nivel desaguado por el gran túnel por lo que las minas fueron abandonadas. No obstante el segundo Conde rehabilitó de nuevo la mina, de modo que, entre 1794 y 1801 produjo otros seis millones de pesos, pero ya para entonces el costo de sus 28 malacates se elevaba a un cuarto de millón de pesos al año. [...] no logró sostener estos enormes gastos generales y suspendió el trabajo”. Brading A. David, *Mineros y comerciantes en el México borbónico, 1763-1810*, México, Fondo de Cultura Económica. pp. 252-253

² Intentos infructuosamente de drenar minas aruinaron a muchos mineros, David Brading menciona dos ejemplos “[...] Manuel de Aldaco, asociado con Juan de Barandiarán, trató de desaguar las minas de Santa Brígida mediante la excavación de un socavón. Designó a Pedro de Anza, un colaborador cercano de José de la Borda. A pesar de toda esta combinación de recursos financieros y tecnología, Aldaco perdió aproximadamente medio millón de pesos en la empresa. [...] El banquero de plata Isidoro Rodríguez de la Madrid había quebrado en Real del Monte por importar maquinaria inglesa con un costo de 100,000 pesos, tratando en vano de desaguar sus minas”. Brading A. David, *Mineros y comerciantes en el México borbónico, 1763-1810*, México, Fondo de Cultura Económica. pp. 242-252

Varios factores naturales propiciaban que una mina se anegara. La ubicación topográfica, la profundidad de las excavaciones, las zonas aledañas montuosas, el tipo de tierra del lugar y el volumen de precipitaciones fluviales eran algunos de los factores que determinaban que una mina estuviese más o menos sujeta a periódicas inundaciones. Había minas poco profundas que recibían grandes caudales de agua en época de lluvia, ocasionados por las filtraciones copiosas debido a la naturaleza del terreno.

No existía regla fija para conocer si una mina era en mayor o menor medida vulnerable al fenómeno de inundación. En la mayoría de los casos, se presentaban situaciones que eran imponderables en el inicio de las labores, pero que, a la postre determinaban la duración de la vida de una mina.

El método de desagüe por medio del malacate fue muy socorrido durante toda la época colonial y buena parte del siglo XIX. Su uso estuvo casi siempre restringido a las grandes minas que disponían de tiros adecuados y a minas poco hondas, ya que al profundizarse los trabajos, el malacate perdía eficacia o incrementaba su costo de operación a niveles insostenibles.

El socavón fue otra estrategia de desagüe que dio muy buenos resultados en algunos reales, pero esta estrategia dependía de la topografía de cada real. Pocas vetas fueron susceptibles de desaguarse por medio de socavones. Otro obstáculo importante, era el de las altas inversiones que el socavón requería.

La técnica de desaguar minas a través de socavones estuvo presente en la explotación de minas mexicanas desde el siglo XVII y permaneció como un recurso efectivo hasta el siglo XX. En las diversas regiones mineras del país se encuentran, en algún periodo, importantes socavones de desagüe.

En el área minera de Pachuca-Real del Monte, entre el siglo XVIII y la primera mitad del siglo XX, el socavón fue una técnica recurrente que coexistió junto a otras formas tradicionales y modernas de extraer el agua de las minas. Los socavones desempeñaron conjuntamente funciones de desagüe, ventilación, comunicación, transporte y extracción de mineral.

Otra técnica de desagüe de minas fueron las bombas hidráulicas, las cuales fueron conocidas en casi todo el periodo colonial. Sin embargo hasta finales del siglo XVIII no se pudo probar su eficacia, sobre todo en minas profundas.

En 1768, Antonio Alzate reconocía que habían existido empeñosas tentativas para solucionar el desagüe por medio de máquinas hidráulicas. Sin embargo, Alzate al mismo tiempo reconoció que debido a la falta de suficientes conocimientos de física moderna y matemáticas, el resultado no había sido el deseado; al respecto escribía:

[...] La construcción de una máquina hidráulica necesita de más luces de las que a muchos parece. Se requiere un gran conocimiento de las matemáticas, ayudado de una gran penetración y habilidad para conformarse a las dificultades accidentales que suelen sobrevenir. Esto es lo que ha frustrado a

varias máquinas mal entendidas o peor pensadas que se han intentado ejecutar para el desagüe de las minas y no han tenido el efecto deseado por la falta de conocimientos expresados. [...] Es por eso que se hallen tantas minas ricas abandonadas por no poderse costear su desagüe.³

A principios del siglo XIX muchos reales de minas como Real del Monte se hallaban en condiciones de aguda depresión. La causa no era que los filones estuvieran agotados, sino que las minas habían llegado a una profundidad en que su explotación era demasiado costosa para el minero medio. La abundancia de agua en las vetas y lo incosteable del desagüe con el malacate propiciaron el abandono de muchas minas.

En este contexto de minas inhabilitadas, al inicio del siglo XIX el gobierno español y los mineros novohispanos, haciendo reformas a través de sus tribunales, emprendieron la modernización técnica del sector. La introducción de máquinas para el desagüe de minas fue un elemento fundamental para la rehabilitación de esta actividad económica.

³ Trabulse Elías, *El círculo roto*, México, Fondo de Cultura Económica, 1992, 247 p; p. 186 (Lecturas mexicanas 54)

I.2. Dos propuestas modernizadoras para la minería: la máquina de vapor y las bombas hidráulicas movidas por agua y por bestias.

El Tribunal de Minería y la Corona española, a través del virrey, sostuvieron una polémica sobre la innovación técnica del sistema de desagüe de las minas del México colonial. Esta polémica giró en torno a la aplicación de la bomba de vapor dentro de la industria como elemento de sustitución de la energía animal. La viabilidad de este proyecto dependía, en gran medida, de encontrar las reservas de carbón mineral y las posibilidades de explotarlo y transportarlo. Esta discusión fue importante, porque, cada una de las posiciones llevaba implícita una propuesta modernizadora y de desarrollo económico para la Nueva España.

La Corona se propuso modernizar la técnica minera para el desagüe de minas por medio de la aplicación de la bomba de vapor. El plan era importar la maquinaria de Inglaterra, y utilizarla sin tomar en cuenta los factores internos del México colonial como la falta de carbón mineral y la falta de liquidez en la mayoría de los reales de minas.

El Tribunal de Minería coincidía con la Corona española en la necesidad de modernizar las técnicas de desagüe en la industria minera. Sin embargo, no estaba de acuerdo en la vía propuesta. Los miembros del Tribunal pensaron que el medio más apropiado para la unificación de los sectores de la producción minera, era la construcción de la maquinaria de desagüe en el territorio colonial. Ello permitiría crear una técnica que se ajustara a las necesidades y al entorno de la actividad económica local. En su argumento

subrayaban la capacidad y experiencia de los técnicos novohispanos para llevar adelante un proyecto autónomo.

Los miembros del Tribunal de Minería sostuvieron una discusión con la Corona sobre la modernización de la técnica minera entre los años de 1804 a 1809. En el debate, los miembros del Tribunal de Minería se negaron a acatar la propuesta de Carlos IV de utilizar la máquina de vapor en el desagüe de las minas de la Nueva España de manera unilateral y mecánica. Decían, que el uso de la máquina de vapor sería un fracaso si no se consideraban las distintas condiciones en que se encontraban los reales de minas. Los ilustrados del Tribunal proponían una técnica de desagüe que tomara en cuenta las condiciones de las minas de la Nueva España. La falta de carbón mineral, el despoblamiento de los bosques aledaños a los reales, el desarrollo desigual de los reales mineros y la profundidad de los laboríos que afectaban la capacidad económica para emprender de un solo golpe el cambio de tecnología, eran condiciones que, de no tomarse en cuenta, empantanarían los proyectos de modernización.

En Europa, James Watt había dado en 1776 el perfeccionamiento requerido a la bomba de vapor inventada por Newcomen, cuando, por primera vez instaló uno de sus modelos en Fusman, Inglaterra. En España muy pronto se sintió la necesidad de contar con una de estas máquinas. Con ese fin, en los primeros años del siglo XIX el mecánico Tomás Pérez realizó varios experimentos en las minas de Almadén, Andalucía, bajo la dirección y supervisión de los ingenieros de la firma de Boulton & Watt.

A los pocos meses de funcionar la bomba de vapor en Almadén, el monarca Carlos IV pensó que la productividad de las minas de la Nueva España y Perú se elevaría si se aplicaba el uso de estas bombas. El 2 de noviembre de 1803, el monarca envió una Real Orden a la Nueva España pidiendo se investigaran las posibilidades de usar estas máquinas de vapor para el desagüe. En caso afirmativo, ofrecía encargarlas a Londres y enviar con ellas los técnicos necesarios para su instalación tal como había ocurrido en Almadén. “El virrey Iturrigaray transmitió la orden al Tribunal de Minería”⁴

Fausto de Elhuyar⁵, director general del Colegio de Minería, y Andrés del Río fueron quienes dictaminaron acerca de la necesidad de introducir las máquinas de vapor. Uno de

⁴ [Plan para introducir en el reino las máquinas de vapor, México, 1820] AGN, Minería, V. 28, exp. 4, fs. 146-147v

⁵ **Fausto de Elhuyar**, 1755-1833, provenía de una familia vasco-francesa que se afincó en Logroño. <http://es.wikipedia.org> En 1778 Fausto de Elhuyar ingresó a la Academia de Minas de Friburgo (La escuela más importante en Europa para los jóvenes que deseaban estudiar ciencias mineras) donde se enseñaba química, metalurgia y mineralogía y uno de los profesores más reconocidos era Abraham Gottlob Werner 1749-1817 uno de los padres de la geología moderna. Elhuyar ingresó a esta escuela enviado por la Real Sociedad Basconsagrada de Amigos de París, con el objeto de prepararse para impartir cursos de mineralogía en el recién fundado Real Seminario Patriótico de Vergara. Previamente Elhuyar había permanecido cerca de cinco años en París y había seguido los cursos de química de Hilaire Marin Rouelle; después regresó a Vergara, para posteriormente tomar los cursos en Friburgo. (Escamilla González Omar, “Ilustración alemana y ciencia novohispana: la biblioteca de Fausto de Elhuyar”, en *Alemania y México, percepciones mutuas en impresos, XVI-XVIII*, Pietschman Horst *et al.*, edit. México, Universidad Iberoamericana, 2005, pp. 401-402) Al morir el primer Director del Tribunal de Minería Joaquín Velásquez de León, el rey de España Carlos III designó a Fausto de Elhuyar como el nuevo Director. José de Gálvez le dirigió una misiva a Viena, donde le comunicó que había sido electo para ocupar dicho puesto y por consiguiente debería, a la brevedad posible, emprender el viaje a Nueva España. Elhuyar retrazó por más de dos años su desembarco en tierra americana, tiempo que utilizó para preparar su viaje, y reclutar trabajadores sajones para que colaboraran con él. Elhuyar junto con un grupo de colaboradores arribaron al puerto de Veracruz en Septiembre de 1788. Entre sus mayores meritos intelectuales se encuentra el descubrimiento del tungsteno en compañía de su hermano Juan José. (Flores Clair Eduardo, *Minería, educación y sociedad, el Colegio de Minería, 1774-1821*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2000, pp. 35-35) Durante treinta y tres años de estancia en Nueva España se ocupó de la creación del Colegio de Minería (1792), la construcción del Palacio de Minería (1813) y la dirección de los mismos. Fausto de Elhuyar regresa a España en 1822 y se ocupa del reconocimiento oficial de las minas de Almadén, Guadalcánal y Río Tinto. En 1825 es nombrado Director General de Minas de España. Muere en Madrid el 6 de enero de 1833. <http://es.wikipedia.org>

los dictámenes, fechado el 14 de marzo de 1804, firmado por Fausto Elhuyar⁶, proporciona una gran cantidad de elementos de enorme valor científico, que muestran el conocimiento profundo que se tenía de los problemas técnicos que obstaculizaban el desarrollo de la minería. Además, el documento también describe el grado de desarrollo tecnológico alcanzado durante los últimos veinticinco años de vida colonial para superar los retos técnicos. El informe nos explica con claridad, los mecanismos que se fueron construyendo para sustituir al malacate en el desagüe de minas ante las dificultades técnicas que hacían poco viable la introducción de la máquina de vapor en las minas de la Nueva España.

Este documento ayuda a entender y clarificar el periodo entre 1800-1810 que la historiografía no ha documentado suficientemente: el proceso de construcción de las máquinas diseñadas por Fausto de Elhuyar y Andrés del Río. El documento describe el origen, desarrollo y uso real y potencial de las máquinas de columna y las bombas movidas por bestias. Con ellas, se intentaba sustituir al malacate en el desagüe de las minas ante las dificultades técnicas para introducir las máquinas de vapor.

Elhuyar expresó con claridad las dificultades y los obstáculos que se enfrentarían con la introducción de la tecnología de vapor. Al mismo tiempo, también proponía soluciones alternas viables como las bombas hidráulicas.

Dicho documento era la respuesta a la posibilidad de introducir la máquina de vapor en Nueva España, solicitada por el Virrey a petición del monarca. El autor detalla la

⁶ [Informe de Fausto de Elhuyar al Virrey José de Iturrigaray sobre las posibilidades de introducir la máquina de vapor a la Nueva España, México, 14 de marzo de 1804] AGN, Minería, V. 28, Exp. 5, fs. 190-193v

naturaleza de los obstáculos que habrían de superarse para poder emplear exitosamente la tecnología de vapor. Por ejemplo, señalaba deficiencias naturales, como era la carencia del carbón de piedra, y el despilfarro que se había hecho en el uso de los bosques mexicanos.

Fausto de Elhuyar reconocía que las referidas bombas de vapor eran máquinas muy recomendables por su potencia, las cuales aventajaban en mucho, a todas las demás que hasta entonces había inventado el discurso del hombre. Dijo tener conocimiento de que la máquina de vapor se había establecido en diferentes países de Europa con fines muy diversos, y uno de ellos era el desagüe de las minas. Sin embargo, anticipó el hecho de que estas máquinas requerían de grandes cantidades de carbón o leña como combustible y que por esta última circunstancia era difícil o imposible su uso en donde escaseaba o se carecía del carbón o madera, y sólo se conservarían en función en los parajes en que abundan, con alguna intermediación, las minas de carbón de piedra o bosques⁷

El Director General del Colegio de Minería, enfatizó que sin disponibilidad de carbón, sería muy costoso alimentar con leña las máquinas de vapor. El trabajo de las máquinas debía ser continuo como lo exige el desagüe de las minas, y esto demandaba una gran cantidad de madera. El consumo de leña ya era sensible en los reales por su crecido uso en las operaciones de beneficio, además de agravada por el descuido total en la repoblación de los bosques. En modo de advertencia, Elhuyar recordó que por falta de combustible subsistieron poco tiempo las bombas de esta clase que, a mediados del siglo pasado, se habían establecido en las minas de Schemnitz, en Hungría. Explicaba, que esto sucedió a pesar del esmero con que se cuidaba la renovación de los bosques, además de

⁷ *Ibid.*, f. 190

haberse utilizado únicamente estas máquinas para suplir la falta de otras, movidas por agua, en las temporadas de seca. La máquina de vapor que consumía menos leña, en 24 horas gastaba una cantidad de leña de raja que en nuestras medidas corresponde a 28 varas⁸ cúbicas. Elhuyar en su informe al virrey, tomó en cuenta las mejoras que introdujo Watt al mecanismo, que redujo sensiblemente el consumo de combustible en relación a la máquina de Newcomen, “pero no tanto que dejara de ser mucha cantidad”⁹

La función de Elhuyar en el Colegio y Tribunal de Minería le permitió conocer constantemente los principales Reales de Minas. Viajó con frecuencia a los Reales para obtener información concerniente a los problemas y condiciones de la industria minera en diferentes partes del territorio. Esto le permitió organizar el trabajo en la Escuela y el Tribunal de Minería de una manera inteligente y, “formular una razonable combinación de las teorías más modernas de tecnología europea con las realidades de las condiciones locales”¹⁰

Basado en la experiencia de sus visitas a los reales, Elhuyar afirmaba que los de Guanajuato, Catorce, Zacatecas, Bolaños, Sombrerete, Pachuca, Taxco y los demás que tienen alguna antigüedad y formalidad se hallaban desprovistos de montes. Esto se debía al descuido en renovar los plantíos y el desorden con que se habían ejecutado los cortes, lo que contribuyó a la destrucción de los bosques. Por esta circunstancia, se tenía que recurrir en varios reales a traer la madera de una distancia de treinta o cuarenta leguas, lo que

⁸ Una vara, es una unidad de longitud Castellana, equivalente a 83.6 centímetros.

⁹ AGN, *Minería*, V. 28, Exp. 5, f. 190V

¹⁰ Howe, Walter, *The mining guild of New Spain and its Tribunal General, 1770-1821*, Greenwood Press Publishers, New York, 1968, P. 319

resultaba en su encarecimiento. En semejante situación no se podría adoptar fácilmente el uso de las bombas de fuego.

Tocante al carbón mineral¹¹, Elhuyar suponía la existencia de mantos y vetas, pero hasta esas fechas eran escasas las noticias de criaderos de carbón a pesar de haberse solicitado su búsqueda a las Diputaciones territoriales. “Con certidumbre solo se conocen las de Nuevo México, con muestras de excelente calidad. Pero la distancia y separación de aquella provincia no permite aprovecharlo en ningún real de minas, hasta que se descubran otros más inmediatos que hagan rentable su conducción, por lo que se hace remota la introducción de la máquina de vapor a este Reino”.¹²

Tan pronto se conoció el trabajo de investigación y búsqueda de carbón registrado por Antonio Alzate en su *Memoria*, el virrey Branciforte ordenó al Real Tribunal de Minería, el 23 de septiembre de 1794, abocarse a la búsqueda de este mineral fósil. Fausto de Elhuyar comisionó al metalurgista alemán Federico Sonnenschmid viajar a los minerales señalados por Alzate para inspeccionarlos. Además, en las Diputaciones de Minería se circuló la orden de búsqueda y obtención de muestras del mineral.¹³

¹¹ Un testimonio documental, que se refiere a la búsqueda de carbón mineral, lo encontramos en las instrucciones del virrey marqués de Branciforte, dadas en agosto de 1794 a Antonio Alzate y Ramírez (1737-1799), para que le informase sobre la existencia de carbón de piedra en territorio de la Nueva España, preocupado por la destrucción de los bosques. Pide el virrey a Alzate se lo haga saber por escrito y así lo hace en una *Memoria; en la que se trata del carbón mineral, por lo respectivo a la Nueva España*. De acuerdo a los criterios de *orictognosia* de la época, Alzate fundamenta la presencia de pizarra, de arenisca negra, de lava, y del mismo petróleo, por lo que pronostica probabilidades en una veintena de lugares los cuales enlista. Además menciona que los franciscanos en sus crónicas señalaban que en Nuevo México, habían sobrevivido a falta de combustible quemando piedras (carbón mineral) AGN, Correspondencia de virreyes, vol. 190, exp. s/n.

¹² AGN, Minería, V. 28, Exp. 5, f. 191

¹³ AGN, Minas, vol. 29, Exp. 36

Para diciembre de 1794, el Tribunal de Minería y sus diputaciones habían recibido más de 35 muestras de pizarra, petróleo, chapopote y arenas negras, así como algunas muestras de carbón mineral.¹⁴ En 1795, Branciforte transmitió un reporte a la metrópoli señalando que, existían posibilidades de carbón de piedra en los reinos de ultramar.

Con pruebas de carbón mineral en su poder, el director del cuerpo de minería de México informó al virrey que, “el carbón de piedra no lo había cerca de las principales minas, sólo se encontraba útil en tierras de la actual Nuevo México y que su traslado era muy costoso”.¹⁵

Mostrando su profundo conocimiento del estado de la minería en el Reino, Elhuyar explicó que para la introducción de la máquina de vapor se requería conocer la profundidad de cada tiro y la abundancia de agua en cada mina. Estas características que, variaban de mina en mina y de real en real, se necesitaban conocerlas para poder determinar las dimensiones que debería tener cada máquina. Además, era necesario tomar en cuenta la abundancia y ley de los metales que hiciera rentable el empleo de tales máquinas. “De no hacerlo sería exponerse a traer una máquina a una mina que no admitiera su aplicación”.¹⁶ Dadas las circunstancias descritas, Elhuyar manifestó que no podía en ese momento asignar mina alguna que estuviera en estado de admitir el establecimiento de la máquina de vapor.

¹⁴ AGN, *Minas*, Vol. 29 Exp. 36 y 37.

¹⁵ AGN, *Minería*, Vol. 28, Exp. 5, f. 191

¹⁶ *Ibid*, f. 191v

Elhuyar planteó ante el virrey la alternativa de las bombas hidráulicas. En particular, recomendó la maquina hidráulica de columna de agua¹⁷ instalada en la mina de Morán en Real del Monte. Esta máquina fue construida por el excelente maquinista flamenco Pedro de Lachaussee bajo la dirección del catedrático de Mineralogía Andrés del Río. El funcionamiento de dicha bomba sirvió para mostrar la utilidad de este género de máquinas para el desagüe de minas. Elhuyar atestiguaba la calidad de esta máquina en cuanto a su solidez, exactitud de piezas, buen orden y uniformidad de movimientos. Si no era mejor, decía, al menos nada pide a las mejores construidas de igual especie en Alemania y Hungría. Asimismo, planteó la posibilidad de construir otras bombas hidráulicas semejantes a la de la mina de Morán para establecerlas en otras minas.

En el mismo documento, Elhuyar planteó por primera vez al virrey que “en cuanto hubiere circunstancias favorables para el empleo de la máquina de vapor podría desempeñarse aquí su construcción, sin ocurrir al auxilio extranjero, sirviendo de fomento y progreso a la industria local”.¹⁸

¹⁷ José mariano Vallejo ofrece la siguiente descripción de este tipo de máquina: “Cuando se tiene una cierta cantidad de agua, á una gran altura, y se quiere que obre en su parte inferior, de un modo simple y económico es muy útil el servicio de una *máquina de columna de agua*. Se coloca en el punto del trabajo un cuerpo de bomba con un embolo; se pone esta bomba en comunicación, con el agua situada en la altura por medio de un tubo o columna de agua. Si el embolo está en posición de levantarse por la presión de la columna de agua se eleva en el cuerpo de bomba hasta el extremo del curso que le está señalado; entonces se cierra la comunicación con la columna motriz, mientras que se abre una salida al agua que ha entrado en el cuerpo de bomba; el fluido se escapa; y el embolo abandonado a su peso vuelve a bajar; la misma maniobra continúa y se produce el movimiento de vaivén de la espiga del embolo. Esta máquina, que solo tiene empleo en las minas, no es de una construcción costosa y ocupa poco lugar” Vallejo José Mariano, *Tratado sobre el movimiento y aplicación de las aguas*, t. II, Madrid, Imprenta de Miguel Burgos, 1833, 556 p. pp. 155-156. *Confróntese*: Jariez Julio, *Curso completo de ciencias matemáticas, física y mecánica aplicadas a las artes industriales* t. VI, Traducido del francés por Francisco Solano Pérez, Santiago de Chile, Imprenta del Ferrocarril, 1860, 363 p. p. 140

¹⁸ AGN, Minería, V. 28, Exp. 5, f. 192

Elhuyar propuso no solo las fortalezas, sino también las limitaciones de las máquinas de columna de agua. En lo general, especificó que eran de menor potencia que las bombas de vapor, pero que su bajo costo y su menor tiempo de producción las ponía en ventaja con respecto a las de vapor, añadiendo que “bajo las actuales circunstancias de la minería de este reino, su propagación debe llamar por ahora la atención de preferencia a las bombas de fuego”.¹⁹

Otra limitante de la máquina de columna era el agua que demandaba del exterior para su movimiento, y que no la había en cantidad y elevación necesaria en la mayoría de los minerales. Por esta razón, consideraron demasiado limitados los casos de la aplicación de la máquina de columna de agua, con respecto a las muchas minas en que pudiera ser benéfica.

Estas consideraciones y circunstancias dieron motivo a la búsqueda de otro diseño de máquina adecuado a la fuerza motriz de la que se disponía: la de las bestias, que era la más adecuada para aplicarse en todas las minas y se disponía en abundancia. Se necesitaba una máquina que sustituyera las sogas y los cueros de los malacates por bombas subterráneas que pudiesen extraer la misma cantidad de agua a cualquier profundidad, disminuyendo el número de bestias para su ejecución. Elhuyar manifestó que “en ese tipo de máquinas se investiga y trabaja en el Colegio de Minería”.²⁰

Elhuyar terminó su informe de la siguiente manera:

¹⁹ *Idem.*

²⁰ *Ibid.*, f. 193

[...] Por esta exposición reconocerá Vuestra Excelencia que la constitución física de estos países, las disposiciones locales, las de los mismos dueños de las minas, no permiten adoptar con generalidad los diferentes medios que se han inventado para su desagüe, y que es preciso contentarse con usar ya de unos, ya de otros, modificándolos según permitan y exijan las circunstancias. En consecuencia Vuestra Excelencia informará a su Majestad lo que fuere de su superior agrado.²¹

La respuesta de Fausto de Elhuyar no dejó satisfecho al monarca. El Rey, el 12 de enero de 1805, insistió en que se estudiara seriamente la posibilidad de implantar la bomba de fuego, indicando que el carbón de piedra y la leña gruesa podían suplirse con la leña menuda de los montes bajos, como se estaba haciendo con éxito en Almadén. Esta orden fue acompañada de un diagnóstico de Tomás Pérez sobre la aplicación de las bombas de vapor en la Nueva España.

Según consta en otro documento²², los miembros del Tribunal de Minería contestaron que conocían muy bien las ventajas de la bomba de vapor y sus efectos, no sólo porque sabían quiénes eran los diferentes autores sino también por la información que de ella y de sus distintas aplicaciones habían adquirido en sus viajes por Francia e Inglaterra. Poseían toda la información más reciente disponible en Europa sobre las máquinas de vapor, incluyendo modelos traídos de Londres para su estudio y experimentación en el Colegio de Minería. Walter Howe proporciona una lista de instrumentos y aparatos,

²¹ *Ibid*, f. 193v

²² [Contestación a la circular del 19 de mayo de 1806, Secretaria del Virreinato, México 18 de octubre de 1806] AGN, Minería, Vol. 28, exp. 7, fs 252-257v.

ordenada en Londres para el Colegio de Minería en 1796, donde corrobora la existencia de modelos de bombas de aspiración y presión en este recinto.²³

La Escuela de Minería fue equipada con el equipo científico más moderno de la época, construido por los mejores artistas de Europa, indudablemente la escuela mejor equipada de América.²⁴

Los miembros del Tribunal de Minería añadieron que ellos mismos hubiesen promovido la aplicación de la máquina de vapor en las minas de la Nueva España si no hubieran sondeado obstáculos difíciles de superar a causa de la constitución y circunstancias de los reales de minas. Ésta fue la razón, señalaron, por la que se dedicaron a buscar una técnica adaptada a las particularidades de la minería mexicana.²⁵

El resultado de la búsqueda de un instrumento que respondiera a las necesidades de la minería novohispana, fue la máquina de columna de agua en la mina de Morán del Real del Monte. Asimismo, el Tribunal había elaborado un proyecto de construcción de bombas y máquinas movidas con bestias, cuya prueba formal se efectuaría en la mina de *Jesús*, de ese mismo real.²⁶

Los miembros del Tribunal refutaron, en particular, el análisis que hacía Tomás Pérez sobre las condiciones técnicas de la minería novohispana, así como su estimación de

²³ Howe, Walter, ...Op. Cit., Apendice E.

²⁴ *Ibid*, p. 225

²⁵ AGN, Minería, V. 28, Exp. 7, fs. 252-252v

²⁶ *Ibid*, f. 253v

las posibilidades que existían en ella para la aplicación de la bomba de vapor. Pérez afirmaba que América se encontraba con un gran atraso científico. Los miembros del Tribunal contestaron que la afirmación de Pérez era falsa, pues existía la posibilidad de que el adelanto técnico-científico en la Nueva España y en toda América, se encontrara más avanzado que en España²⁷. Algunos historiadores consideran que en el último cuarto del siglo XVIII la industria minera de la Nueva España desarrolló una transformación técnica-científica, la cual dejó sus huellas sobre la minería en todo el hemisferio occidental. “El Colegio de Minería constituyó un avance mayor de la educación científica en el mundo occidental”.²⁸

Del mismo modo, el Tribunal de Minería, en su respuesta, criticó la opinión de Pérez sobre la aplicación de la bomba a la minería de la Nueva España. Tomás Pérez quería adoptar de manera mecánica las normas aplicadas en Almadén para el establecimiento de las bombas, mientras que las circunstancias de la minería mexicana eran diferentes a las de la península. Para fortalecer su argumento, el Tribunal hizo notar que incluso en la propia

²⁷ *Ibid*, f. 254

²⁸ Newton R. Gilmore, “British Mining Ventures in Early National Mexico”, Doctoral Thesis in History, Berkeley, University of California, 1956: p. 36. [Howe, Walter, Op. Cit, pp. 301-449, ofrece cantidad de argumentos que corroboran lo dicho por Gilmore Newton]

“Los objetivos del Colegio de Minería fueron rebasados y la enseñanza tomó distintos rumbos; para ello se aplicó un plan académico innovador que rompía los métodos de enseñanza tradicional, una pedagogía acorde con el desarrollo de las ciencias aplicadas, que mantenía un diálogo permanente con las escuelas mineras europeas. Todos estos elementos hicieron del Colegio de Minería una institución vanguardista en el mundo de la Ilustración. [...] Los profesores fueron los encargados de difundir y enseñar las ciencias ilustradas a varias generaciones de jóvenes ávidos de adquirir una nueva manera de ver el mundo, con el fin de enfrentar la realidad novohispana y contribuir al desarrollo minero. Los primeros profesores fueron actores de la transición ya que ellos se formaron entre la tradición y la modernidad; su principal contribución fue la de impulsar una forma de pensamiento fundada en la razón y como único método, la experimentación. La corporación minera desempeñó un papel vital para fundar, sostener y consolidar el proyecto académico, ya que en sus manos estuvo la toma de decisiones que permitió su funcionamiento armónico. Gracias a su apoyo económico, el Colegio tuvo la capacidad de ampliar sus metas, disponer de recursos para adquirir los materiales pedagógicos más avanzados y formar una planta docente de primer nivel, la cual podría haber sido la envidia de cualquier escuela europea”. Flores Clair Eduardo, *Minería, educación y sociedad, el Colegio de Minería, 1774-1821*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2000, p. 223.

Nueva España no se podría aplicar una misma norma, pues entre una mina y otra las situaciones se presentaban distintas, y precisamente esta diversidad geográfica y geológica hacía que la aplicación de la máquina no fuera rentable en todos los reales.²⁹

En la contestación también hacían cálculos sobre los costos que las máquinas generarían. Decían que el costo de estas máquinas debía ser proporcional a su tamaño, e igualmente a la de su manutención por el gasto de combustible y de las composturas que requirieran. Hacer una máquina para una mina de 100 o 200 varas de profundidad que pudiera servir cuando llegara a tener de 400 a 500 varas sería un aumento exorbitante de gasto y muy incierta su utilización, debido a la poca estabilidad que generalmente se observa en las vetas de plata. “Una buena prueba de ello son las ricas minas de Real de Sombrerete, que después de haber dado a sus dueños algunos millones, hasta hoy día no han hecho más que quitarle muchísimos miles”.³⁰

Por último, Elhuyar y los demás miembros del Colegio de Minería proponían como alternativa construir las máquinas de vapor en la Nueva España, con el fin de que éstas fueran adecuadas a las condiciones de la minería mexicana y con ello evitar la dependencia técnica del exterior. Agregaban que conocían el pormenor de su estructura y los principios en que está fundada su ejecución. “No hay dudas que ofrecería dificultades; sobre todo al principio, pero éstas no deben amedrentar a quien se siente con fuerzas para superarlas.”³¹

Más adelante añadían:

²⁹ AGN, *Minería*, V. 28, exp. 7, f. 254

³⁰ *Ibid*, f. 254v

³¹ *Ibid*, fs. 255-256

[...] Para la máquina de columna de agua, establecida en la mina de Morán, ha sido preciso fundir y trasladar cilindros de metal de más de nueve pies de largo y hasta quince pulgadas de diámetro interior, como también varias piezas de consideración, no habiendo tropiezo que haya imposibilitado ejecutarlo todo con el mayor primor y exactitud, construyendo al efecto los hornos y máquinas necesarias. Del mismo modo, aunque con más trabajo esperamos se consiga labrar todas las piezas que exigen las bombas de fuego. En la primera que se emprenda consistirá toda la dificultad; pero si por huir de ésta responsabilidad se prefiere traer hechas de Londres las que se ofreciesen, viviríamos siempre sujetos sin necesidad a nuestros enemigos con poquísimos honores de nuestra Nación.³²

Estas palabras transcritas encierran un legítimo orgullo por la técnica minera novohispana desarrollada en las últimas décadas de vida colonial. Proponían, la modernización de la estructura productiva de la minería tomando en cuenta las circunstancias internas, y por otro la defensa de un *desarrollo tecnológico autónomo*. Mientras la monarquía ilustrada española buscaba aplicar el desarrollo técnico europeo a la Nueva España mediante una *transferencia tecnológica*.

³² *Idem.*

I.3. Dificultades para implementar la tecnología de vapor:

I.3.1. Los problemas en los Reales de Minas para admitir la máquina de vapor.

Una de las observaciones que hizo Elhuyar en sus viajes a Real del Monte fue destacar que este distrito poseía montañas cubiertas de árboles, lo que hacía una diferencia muy notable con la mayoría de los reales que carecían de bosques, o que por falta de replante habían agotado los mismos.³³

Eventualmente fue el distrito de Real del Monte, por contar con grandes extensiones de madera y un sistema productivo bien definido, lo que hizo posible el uso de la tecnología de vapor, lográndose así drenar todo el distrito. La abundancia de madera era una condición que no reunían la mayoría de los Reales. Decía Elhuyar: “esta es una apreciación que hay que verificar con todo cuidado en cada uno de los Reales, por lo que hay que pedir información a los intendentes y subdelegados, que incluyan en los informes todos los aspectos requeridos”.³⁴

Con base en los informes recogidos por los señores intendentes y subdelegados de los Reales sobre la posibilidad de admitir las máquinas de vapor, pedidos el 27 de marzo de 1809, Elhuyar rindió un informe sobre las posibilidades de admitir la máquina de vapor.³⁵

³³ *Ibid*, fs. 255-256v

³⁴ *Ibid*, f. 256v

³⁵ [Informe de Fausto de Elhuyar y Andrés del Río a Xavier Venegas, 22 de febrero de 1811]
AGN, Minería, Vol. 28, Exp. 5, fs. 223-227v

En ese informe Elhuyar especifica, que la introducción de la máquina de vapor se debe reducir “a parajes donde se pueda conseguir suficiente combustible a un precio cómodo. Donde se garantice la riqueza de minerales para su explotación y la conservación y permanencia del giro de las minas”.³⁶ El informe hace mención de algunos parajes donde hay montes bajos y bosques, pero dice que hay que verificar otras circunstancias como la riqueza de las vetas, la profundidad, tipo de tiro, abundancia de agua, entre otras. “Mazapil, Huetamo, Inguarán, Durango, Fresnillo, Guadalcázar, y Zitácuaro; con poca disposición, en general no tienen problemas de desagüe, poca formalidad y consistencia de sus vetas y corto valor de sus frutos, también alegan carecer de combustible”.³⁷

En el reporte se mencionan minas como Bolaños, Catorce, Sombrerete, y Zacatecas, por la abundancia de agua y riqueza de sus vetas. Se dice que en esos reales se pudiera considerar la introducción de la máquina de vapor, pero que carecían de combustible. Así, recomendaban el replante, crecimiento y conservación de los bosques. Guanajuato, señalaban, contaba con bosques de leña, pero su demanda era muy grande, por la gran cantidad de minas y haciendas, por lo que no es suficiente.³⁸

En la mina de Maroma del Real de Catorce se indicaba haber mucho monte bajo y minas ricas con abundante agua, pero las vetas estaban muy a la superficie y no había seguridad de la consistencia de la veta.³⁹ Con mayor fundamento se decía que en Real de

³⁶ *Ibid*, f. 223

³⁷ *Ibid*, f. 223v

³⁸ *Ibid*, f. 224

³⁹ *Ibid*, fs. 224v-225

Tlalpujahuá parecía haber proporción de combustible necesario, pero no se tenía más información de las condiciones de las minas.⁴⁰

De esta manera, los reportes recibidos por el Tribunal de Minería, hasta 1811, concluyen en que ningún Real presentaba condiciones para admitir la bomba. La única excepción era el Real de Ozumatlán, que poseía monte bajo y alto con mucha extensión de copiosa saca, con metales de alta ley y abundante agua lo que había impedido disfrutar su riqueza. Sin embargo, en este Real había indicios de que el desagüe se pudiera llevar a cabo con malacates, por que el agua no era tan abundante como se suponía. Por no tener información precisa, el Tribunal tampoco lo recomendaba para la introducción de la bomba.⁴¹

Concluye Elhuyar y Del Río que son escasos los Reales que se pudieran recomendar, en particular mencionan Tlalpujahuá y Ozumatlán. Recomiendan seguir recabando informes con auxilio de sujetos inteligentes y prácticos en la minería que den garantía de los puntos siguientes: (1) Montes en parajes inmediatos a los Reales entre 6 y 8 leguas en contorno, su extensión, su reproducción e implante. (2) Profundidad y cantidad de agua que se ha de desaguar, número y tipo de máquina que se emplea en dicha faena. (3) La calidad y circunstancia de la veta, ley de los metales y su abundancia. (4) Informe del resultado que obtienen al desaguar con las máquinas actuales. (5) Dar atención a las minas abandonadas por las aguas y que al mismo tiempo tengan la fama de ricas. Detallar antigüedad, profundidad, extensión, número y situación de sus laboríos, tiempo de

⁴⁰ *Ibid*, f. 225v

⁴¹ *Ibid*, fs. 125v-126

abandono, calidad y abundancia de sus metales. Esta información daría luces para determinar con seguridad cuales serían las minas donde se pudiera introducir las bombas de fuego, así como su dimensión requerida.⁴²

Los esfuerzos del Tribunal de Minería y su Colegio se vieron afectados primero por los estragos militares y económicos de la guerra de Independencia y, posteriormente, por la acción precipitada de la Corona. Las advertencias al soberano, sobre los inconvenientes de la aplicación de la máquina de vapor en la minería novohispana no fueron tomadas en cuenta. La precaria situación económica de la metrópoli obligó a la Corona a tomar una decisión a favor del uso de la máquina de vapor en la minería novohispana, basándose en sus buenos resultados en Europa. Por lo cual, es de entenderse que la decisión del Rey estaba guiada por su interés económico y político, y no por razones técnicas y del conocimiento de las necesidades de la minería novohispana.

Por medio de la real orden del 9 de agosto de 1818 la Corona precipitó la introducción de la máquina de vapor para el desagüe de las minas. En forma especial esa real orden fue transmitida al Tribunal de Minería y a los dueños de las minas, invitándolos a sustituir la energía animal por la fuerza del vapor en la industria minera⁴³.

Basado en su entendimiento profundo de la minería novohispana y en la información obtenida en los diferentes Reales de Minas, Elhuyar no vaciló y respondió a la

⁴² *Ibid.*, fs. 126v-127

⁴³ AGN, Minas, Vol. 30, Exp. 12, fs. 403-404

Real Orden del 9 de agosto de 1818.⁴⁴ En este documento se menciona que ha llegado información de Europa sobre los perfeccionamientos más recientes de la máquina de vapor, para considerar el ahorro de combustible.⁴⁵ Esta aseveración de Elhuyar es corroborada por John Taylor, quien asienta en su libro que en el año de 1819 una casa de Londres encargada de la venta de las máquinas de vapor, menciona haber tenido correspondencia con Fausto de Elhuyar, Presidente del Tribunal de Minería.⁴⁶

Elhuyar ratifica la escasa disposición que hay para aceptar la máquina de vapor, a causa de ser desconocidos los criaderos de carbón de piedra y la falta de leña en el entorno de la mayoría de los reales.⁴⁷ Reafirma que no se obtendrán resultados favorables si, al mismo tiempo no se trata de proporcionar en abundancia el combustible que se requiere para que funcionen dichas máquinas, siendo éste el problema cardinal en el país.⁴⁸

Elhuyar planteó sus opiniones como una obligación, buscando el bienestar de la minería. Vislumbró la falta de combustible como un punto cardinal y la base esencial para la planificación de las expresadas máquinas. Elhuyar explicaba: “me he propuesto principalmente llamar la atención a este Tribunal, por ahora, como una acción al alcance de mis facultades, y en algún modo obligaciones que me impone la Ordenanza, para el cuidado que en general debo tener en todo lo conducente al alivio y fomento de la minería, como

⁴⁴ [Respuesta de Elhuyar a la Real Orden del 9 de agosto de 1818. Testimonio del expediente instruido en el Tribunal General por el señor Director de ella, promoviendo providencias para surtir combustible para las máquinas de vapor, México, 13 de enero de 1819] AGN, Minas, Vol. 28, Exp. 6, fs. 355-361

⁴⁵ *Ibid*, f. 356

⁴⁶ Taylor John, *Selections from the Works of the Baron de Humboldt, relating to the climate, inhabitants, production and mines of México*, London, Longman, 1824, introducción, VII.

⁴⁷ AGN, Minas, Vol. 28, Exp. 6, fs. 356

⁴⁸ *Ibid*, fs. 356v-357

por el que peculiarmente se recomienda en los artículos 12, 13 y 14; con respecto a los montes y selvas próximas a las minas”.⁴⁹

Sobre el cuidado de los bosques y montes próximos a las minas, categórico, manifestó que no se había aplicado ningún cuidado. Evaluó, que los bosques se hallaban en el más deplorable estado, entregados a la arbitrariedad y capricho tanto de los dueños de las haciendas como de los particulares, que talaban sin consideración cuanto se les presentaba en árboles y arbustos, sin que se hiciera diligencia alguna para su replantación y reproducción. “Este es el motivo por el cual en la mayor parte de las poblaciones hay escasez de leña, siendo éste el factor principal que debe resolverse para difundir el uso de las máquinas de vapor”.⁵⁰

Elhuyar siempre planteó alternativas:

[...] Se deben tomar medidas rápidas para lograr que se pueblen los bosques y cerros circunvecinos, para que en pocos años se obtenga un monte bajo que se reproduzca, siendo ésta la forma de lograr que se generalice el uso de las máquinas de vapor en las minas. Este procedimiento es lento, por lo que también se deben localizar criaderos de carbón de piedra, además de los ya conocidos en Nuevo México, premiando con efectivo a los que los encuentren, con la única condición de que sean criaderos formales de los que se obtenga abundante saca de carbón y que

⁴⁹ *Ibid.*, f. 357v

⁵⁰ *Idem.*

no sean muy distantes del Real de Minas, para no elevar el costo del combustible con el del flete.⁵¹

A partir de ese momento, ese cuerpo de Minería, volcó sus expectativas hacia las formas en que debía realizarse la importación de dichos bienes y, hacia la captación del ahorro necesario para llevar a cabo su compra en el extranjero.

I.3.2. Falta de liquidez de los mineros para introducir la máquina de vapor.

El Tribunal de Minería, acatando la real orden de introducir la máquina de vapor, planteó la formación de una compañía de accionistas como un medio que daría un beneficio común a los empresarios mineros.⁵² Los autores de este proyecto señalaban que por el estado ruinoso de los mineros no se podía esperar que la proyectada compañía se formase sólo entre los individuos dedicados a esa actividad. Por lo que consideraban necesario estimular la participación de los comerciantes en dicho plan.⁵³

En vista de lo anterior, el Tribunal de Minería decidió consultar con las principales diputaciones de minería del reino. Expidió una circular en la que les proponía a estos cuerpos de mineros regionales la suscripción de acciones para formar la compañía anunciada. Tiempo después, el Tribunal de Minería recibió las contestaciones de las diputaciones consultadas: Catorce, Guanajuato, Zacatecas, Pachuca y Sombrerete. Estas

⁵¹ *Ibid*, f. 360

⁵² AGN, Minería, Vol. 28, Exp. 7, fs. 146-172

⁵³ *Ibid*, f. 150v

diputaciones manifestaron que debido a la situación en que se hallaban las minas y el empobrecimiento de sus empresarios, éstos no se encontraban en condiciones de suscribirse como accionistas de la compañía propuesta.⁵⁴ La respuesta de las diputaciones mineras enfrentó al Tribunal al primer obstáculo para la formación de la compañía: la liquidez.⁵⁵

La diputación de Zacatecas hizo hincapié en la falta de combustible en su distrito, no habiendo monte alto ni bajo ni más arbustos que nopales inservibles al interior. Comentó, que sería imposible el funcionamiento de la máquina.⁵⁶ Por su parte, la diputación del Real de Catorce requirió al Tribunal de Minería su autorización para llegar a un acuerdo particular con el comerciante veracruzano Tomás Murphy.

Los mineros entendían que los gastos no terminarían con la adquisición de la bomba. La inyección de capital seguiría con el reconocimiento del tiro en el que se habría de instalar el tren de bombas, pudiéndose presentar la posibilidad de encontrar un tiro con dirección serpenteada, haciéndose necesario su reconstrucción o alineamiento, como había sucedido en la instalación de la máquina de columna de agua en la mina de Morán.⁵⁷

En las condiciones del momento, restituir la capacidad productiva de la empresa minera a los niveles alcanzados antes del estallido del movimiento de Independencia era una empresa titánica. El relato de este cuerpo minero hace pensar que los problemas

⁵⁴ *Ibid*, f. 152.

⁵⁵ *Idem*.

⁵⁶ *Idem*.

⁵⁷ [Testimonio del plan formado por la Junta de Mineros para establecer una empresa que introduzca la máquina de vapor, 13 de enero de 1820] AGN, Minería, Vol. 28, Exp. 8, fs. 371-396

centrales a los que se enfrentaban los distintos agentes económicos para lograr esa recuperación eran el transporte, los energéticos y el capital.

El Tribunal de Minería pensaba que dada la situación de empobrecimiento de muchos de los mineros, la única manera de llevar adelante la empresa era asociándose con los comerciantes: “el comerciante ha de ser forzosamente la mano introductora de la máquina, porque el comerciante es el depositario exclusivo del poco numerario que gira [sic] en circulación”.⁵⁸

A partir de la idea de asociarse con los comerciantes, los miembros del cuerpo de mineros hicieron una serie de reflexiones acerca de las características de los comerciantes, como su falta de conocimiento del proceso productivo. Se preguntaban cómo integrar dos formas distintas de pensar, la minera y la comercial, ya que consideraban que era la única vía posible para la rehabilitación de la minería. ¿Cómo conseguir que los comerciantes invirtieran en la industria minera? Indicaban que era preciso acercarse en lo posible a las ideas de los comerciantes para presentarles un estímulo eficaz que los impulsara a invertir en esta actividad económica.

El estímulo del que hablaban los miembros del Tribunal era el de entregar a los comerciantes el control del proceso productivo y convertir al minero en un rentista. Esto lleva a sugerir que ésa sería una de las características de la industria durante las siguientes décadas. Por ejemplo; un grupo de hombres de negocios con intereses en la casa de moneda y en el monopolio del tabaco adquirió en 1849 la Compañía Real del Monte, formando la

⁵⁸ *Idem.*

Sociedad Aviadora de Minas de Real del Monte y Pachuca, los socios mayoritarios fueron Nicanor Beistegui y Manuel Escandón.⁵⁹

Mientras duraba la discusión de cómo organizar la compañía de accionistas, llegó el tiempo en que México iniciaba su vida independiente. El triunfo de la Independencia interrumpió la formación de esta compañía. Aún así, los miembros del Tribunal dejaron escritas las pautas generales de la política económica de los siguientes años, así como las líneas generales sobre las cuales se levantarían las sociedades entre mineros y comerciantes.

I.4. Dificultades al implementarse la tecnología de vapor.

I.4.1. Tropiezos de las compañías inglesas que trajeron la máquina de vapor.

La Independencia mexicana en 1821 coincidió con el comienzo de una nueva era para la Gran Bretaña. La inversión en el extranjero se hizo atractiva para la clase capitalista británica, quien disfrutaba los frutos del boom de la guerra pos-napoleónica. El movimiento del libre mercado había comenzado e Inglaterra marcaba el paso. Gran Bretaña era la potencia comercial más grande en el mundo, y poseía la llave del equilibrio financiero para los nuevos países en formación. Igualmente estaban impacientes los inversionistas por explotar las mundialmente famosas minas de las Indias españolas, especialmente las

⁵⁹ Herrera canales Inés, “La larga etapa de reconstrucción de la minería mexicana postindependiente, 1821-1870. (Ponencia escrita para la IV Reunión de Historiadores de la Minería Latinoamericana, Plattsburgh, julio de 1995, p. 17)

mexicanas. México volteó hacia Gran Bretaña en busca de capital para su rehabilitación económica y tecnológica.⁶⁰

La máquina de vapor fue la única innovación técnica sustancial introducida por los ingleses en la minería, no había duda de que las máquinas de vapor podrían tener mayor eficiencia que los malacates, pero su utilidad dependía principalmente de si había o no suficiente madera disponible a un razonable costo.

Siete de las principales minas mexicanas: (Anglo-Mexican, Bolaños, Guanajuato, Mexican, Real del Monte, Tlalpujahuá, y United-Mexican)⁶¹ que trabajaron los ingleses con máquinas de vapor, comenzaron casi al mismo tiempo y terminaron en fracaso económico. Tuvieron dificultades para introducir la tecnología y los métodos europeos en una industria tradicional que desconocían. Fueron incapaces de combinar el conocimiento técnico europeo con la experiencia mexicana de 300 años.⁶²

La máquina de vapor logró rehabilitar una de las áreas mineras más famosas de México: Real del Monte, pero a un costo elevado que hizo que la empresa británica se disolviera por incosteable. Esto mismo sucedió en todos los centros mineros donde los ingleses emplearon la máquina de vapor.

⁶⁰ Newton R. Gilmore....*Op. Cit.*, 275 p.

⁶¹ Randal W. Robert, *Real del Monte, una empresa británica en México*, 2da ed., trad. del inglés por Roberto Gómez, México, Fondo de Cultura Económica, 1986: p. 47.

⁶² Newton R. Gilmore....*Op. Cit.*, p.116

Con la instalación de las primeras máquinas de vapor comenzaron a presentarse todos y cada uno de los obstáculos técnicos y financieros que el Tribunal de Minería había advertido a la Corona y que resultaron en menor o mayor grado ciertos.

El Colegio de Minería⁶³, su cuerpo de directores y profesores, su Tribunal y sus diputaciones subordinadas fueron generalmente integrados por hombres prácticos y competentes. Dirigidos por mineros ilustrados, criollos y peninsulares, de reconocida experiencia científica. Se plantearon la tarea de desarrollar la industria minera como un todo. Desarrollaron un proceso de ricas experiencias que auguraba importantes transformaciones en la minería a finales de la Colonia. Sin duda representaban la fuente de información mejor calificada para conocer las fortalezas y debilidades de la industria, y en particular las necesidades tecnológicas para su desarrollo y explotación. No obstante, las compañías inglesas prefirieron hacerse depender de los conocimientos y opiniones de Alejandro Von Humboldt y Lucas Alamán para darse una idea de lo que era la minería novohispana.

Los reportes de Humboldt que leyeron los ingleses hacían énfasis en la planeación ineficiente de las minas, la falta de aplicación de los principios de la geometría y la ciencia. Ignoraron o minimizaron el avance científico y tecnológico logrado desde la creación del

⁶³ El Tribunal de Minería inició la unificación de la industria minera mexicana para darle dirección y planeación, sacándola de una explotación irregular y empírica. A pesar de sus numerosas dificultades, El Tribunal de Minería dejó dos grandes logros; *Las Ordenanzas de Minería y el Colegio de Minería*. El Colegio de Minería impulsó el desarrollo tecnológico tomando en cuenta las limitaciones del país, el Colegio de Minería representó un logro importante para la educación científica en el mundo occidental. How, Walter, *The Mining Guild of New Spain and its Tribunal General*, Cambridge, England, 1949, pp. 448-449 Confrontese: Priesttley, Hebert I., *José de Galvez, Visitor-General of New Spain*, Berkeley, 1916. Confrontese; Newton R. Gilmore....Op. Cit., p. 36

Colegio de Minería, el cual, representó, un paso enorme no solo para la minería novohispana sino también para el conocimiento científico en todo el mundo occidental. “En el último cuarto del siglo XVIII, la industria minera de la Nueva España, desarrolló una transformación la cual dejó sus huellas sobre minería en todo el hemisferio occidental”.⁶⁴

Humboldt fue citado en Inglaterra por capítulo y por verso, llamándolo el más grande viajero independiente que haya existido. Usaron a Humboldt como guía. No tomaron en cuenta todos los estudios y propuestas hechas por el Tribunal y Colegio de Minería, como el estudio que se hizo para detectar yacimientos de carbón por todo el territorio y cuyo resultado demostró que no había criaderos de carbón mineral cercanos a ningún real.

John Taylor, organizador de las compañías inglesas y posterior director general de las compañías inglesas formadas para Bolaños y Real del Monte, fue un propagandista activo en Londres. En 1824, editó una selección de trabajos de Humboldt y los presentó con un estudio económico de posibilidades de inversión en las minas mexicanas. Taylor repetía que “la habilidad y experiencia en minería que poseemos, y la posibilidad de utilizar la máquina de vapor en la minería mexicana, el resultado sería de extraordinarias ganancias”.⁶⁵

Se puede decir que desde un inicio, las compañías inglesas, que trajeron la tecnología de vapor, se basaron en conocimientos técnicos incompletos de lo que era la

⁶⁴ Newton R. Gilmore...Op. Cit., p. 31

⁶⁵ Taylor John, Op. Cit., p. Introduction

minería en México. Dado lo limitado de sus fuentes, no conocieron o no hicieron caso a las advertencias y obstáculos que desde veinte años atrás venían haciendo particularmente Fausto de Elhuyar y Andrés del Río.

En julio de 1825, a la llegada al distrito minero de Guanajuato, la compañía inglesa comenzó a drenar con máquinas de vapor y malacates el gran tiro de la Valenciana, que era una de las más importantes minas del periodo.⁶⁶

En el mismo año de 1825, dentro de la compañía surgió una división de opinión sobre el empleo del malacate o la máquina de vapor; y optaron por depender principalmente por el primero. Doce malacates fueron puestos a trabajar día y noche en el gigantesco tiro de la Valenciana⁶⁷. En este caso particular de la mina Valenciana en Guanajuato, no se pudo emplear la máquina de vapor por falta de madera y carbón.

La falta de agua y combustible fueron problemas para la compañía no solo en Guanajuato, también en Zacatecas y Chihuahua. El combustible tenía que traerse desde una considerable distancia, lo que incrementaba el costo del funcionamiento de la máquina de vapor.⁶⁸

Es importante hacer notar las coincidencias, entre los obstáculos para introducir la máquina de vapor que advertía Fausto de Elhuyar, con los problemas que enfrentaron las

⁶⁶ Newton R. Gilmore, ... Op. Cit., p. 76

⁶⁷ Gentleme's Magazine, or Monthly Intelligencer, London, oct. 1825, pp. 362-363. citado por Newton R. Gilmore, "British Mining Ventures in Early National Mexico", Doctoral Tesis in History, Berkeley, University of California, 1956, p. 80

⁶⁸ Newton R. Gilmore, ... Op. Cit., p. 91

compañías inglesas que introdujeron la máquina de vapor décadas después, como se documenta en seguida:

[...]La tecnología de vapor podía solo ser utilizada o aplicada en las minas mexicanas solo en determinadas circunstancias; madera como combustible, agua, patrón particular de desagüe antes de utilizar la maquina, muchas minas no eran adecuadas para el uso de la máquina de vapor por que no todas las minas eran rentables. Los británicos sobreestimaron la capacidad de sus máquinas.⁶⁹

Las máquinas de vapor tuvieron éxito donde el agua fue confinada en una sola parte de la mina. “En algunos casos donde no se disponía de suficiente madera y el nivel del agua no era muy alto se utilizaba el malacate donde demostró ser más económico”⁷⁰

I.4.2. Caso particular: Real del Monte

Aún en las minas donde contaron con bastante agua y madera como Temascaltepec, Fresnillo y Real del Monte la compañía inglesa enfrentó otro tipo de problemas, previamente advertidos por Elhuyar y del Río. La tecnología de vapor sólo podía ser aplicada bajo circunstancias especiales: madera para el combustible, agua y un patrón particular de desagüe.

⁶⁹ *Ibid*, pp. 231-236

⁷⁰ *Ibid*, p. 138

En el Real del Monte, muchas minas no eran apropiadas para la máquina de vapor. Algunas minas no eran susceptibles de grandes ganancias que garantizaran la importación de maquinaria pesada. Los ingleses tuvieron que construir malacates para Dolores, San Ramón, Zapatero, Santa Teresa y Guadalupe, y ruedas hidráulicas fueron instaladas en la Hacienda de Regla y de Sánchez.⁷¹

En agosto de 1826, por vez primera, una de las máquinas de vapor comenzó a sacar agua de la mina de Morán en Real del Monte. En esta mina, el Colegio de Minería había instalado previamente una máquina de columna de agua. En ella se tuvo que enderezar verticalmente el tiro para que la máquina de columna de agua pudiera funcionar. Esta corrección del tiro ayudó a que la máquina de vapor pudiera operar con efectividad y prontitud.

En Real del Monte el problema principal fue la profundidad de las minas. A más de 300 metros por debajo del socavón, la faena de concluir con el desagüe exigía de máquinas de vapor cada vez más potentes y costosas. Con máquinas de vapor potentes y costosas alcanzaron a drenar las galerías al mismo tiempo que sus finanzas.

Aprendieron por experiencia propia lo que Elhuyar y del Río habían advertido veinticinco años atrás, que la tecnología de vapor sólo podía ser utilizada en determinadas circunstancias. En lugares donde la madera se escaseó y encareció o donde el agua de las galerías no era abundante se empleó el malacate por ser más económico. La máquina de vapor trabajó dependiendo de si había suficiente combustible y a costos razonables. Donde

⁷¹ *Ibid*, p. 69

había suficiente agua, los ingleses instalaron máquinas hidráulicas para utilizar su energía en los trabajos de refinación en las haciendas de beneficio.⁷²

Otro factor que afectó el negocio de la minería fue el sobreprecio de la madera. Con el uso de la máquina de vapor y el trabajo de las haciendas de beneficio se incrementó la demanda y el costo de la madera. La madera se convirtió en una de las mercancías con precios más altos en México.⁷³

En general, la empresa británica carecía de conocimiento tecnológico sobre la minería de plata. “La experiencia europea simplemente no se podía aplicar automáticamente, la compañía británica no pudo reemplazar los métodos tradicionales mexicanos”⁷⁴. Los británicos creyeron tener sobre los nativos los conocimientos y las máquinas, calificaron el método tradicional mexicano de ineficaz, y la empresa se hundió en el intento por demostrarlo. Ignoraron todas las advertencias del Colegio de Minería sobre las dificultades que enfrentaría la instalación y operación de las máquinas de vapor, tropezaron una y otra vez sin escuchar las advertencias.

Como se mencionó anteriormente, la máquina de vapor dio buenos resultados utilizándola en determinadas circunstancias. Las máquinas de vapor de inicio mostraron ser superiores al malacate. Los resultados positivos de la tecnología inglesa se hicieron

⁷² *Ibid*, p. 137

⁷³ José Sebastián Segura, “Mineral de Pachuca” Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, época I, V.II, 1850, 258 p.

⁷⁴ Newton R. Gilmore, ... Op. Cit., p. 233

evidentes con la máquina de vapor en tiros que no eran tan profundos. De inicio el empleo de la máquina de vapor se reflejó en la reducción de costos.

[...] Dos pequeñas máquinas de vapor desaguaron fácilmente una mina a un costo anual de 30,000 pesos, lo que el conde de Regla se había visto obligado a abandonar en 1801, con 28 malacates y un costo anual de 250,000 pesos. Después, cuando se llegó a mayor profundidad, y teniendo que elevar un volumen de agua mucho mayor, apenas bastaba para mantener el desagüe tres poderosas máquinas de vapor con un costo de 90,000 pesos al año, hubiera sido necesario para el mismo efecto, por lo menos 180 malacates, con 7000 caballos y más de 2000 hombres y un gasto anual de 2 millones de pesos.⁷⁵

Al enfatizar la superioridad de la máquina de vapor sobre el malacate, Burkart⁷⁶ omitió agregar el costo de las máquinas de vapor, lo cual hace su cálculo poco preciso. Mas aún, profundizando un poco el análisis se debe decir que la mencionada faena de desagüe no era posible con malacates, por eso en los tiempos del primer conde de Regla optaron por construir el socavón de Morán que junto con el malacate hicieron posible el desagüe en las condiciones que plantea Burkart en su ejemplo. Es a partir de ejemplos como este lo que

⁷⁵ Burkart, Joseph, *Memorias sobre la explotación de minas en los distritos de Pachuca y Real del Monte*, trad. de Miguel Velásquez de León, notas y apéndices de Víctor M. Ballesteros, México, Universidad Autónoma de Hidalgo, serie: Tomos Facsimilar, 1989, sobre la primera edición en español de 1861. pp. 52-53

⁷⁶ Miguel Velásquez de León tradujo del alemán el libro de Joseph Burkart titulado *Memoria sobre la explotación de minas en Pachuca y Real del Monte*, la cual fue publicada originalmente en Berlín. El traductor, en referencia al autor, en el prólogo escribe “El Sr. Burkart, ha estudiado a fondo nuestra minería, nos ofrece una idea completa de estos distritos mineros, desde el punto de vista histórico-científico y económico hasta fines del año de 1858. Por la justa reputación que entre nosotros tiene el autor me ha hecho traducirla para mejor inteligencia de los mineros mexicanos. (Profesor de la Escuela Practica de Minas, Guanajuato, julio de 1880, Miguel Velásquez de León)

llevó a la compañía británica a la sobreestimación de la máquina de vapor. A basar la estrategia del desagüe y extracción en la sola potencia y rapidez de la máquina de vapor.

La estrategia de extracción británica, se concentró en profundizar cada vez más los trabajos en búsqueda de filones de gran riqueza. “En 1835 John Rule, un ingeniero civil relevó al capitán Tendal como superintendente de la compañía en Real del Monte, Rule continuó la misma técnica de seguir trabajando a grandes profundidades, dependiendo del uso de cada vez máquinas más poderosas y costosas”.⁷⁷ Gastaron enormes sumas de dinero en trabajos a niveles profundos en vez de buscar nuevas vetas o invertir en la terminación del socavón Aviadero iniciado por el tercer conde de Regla.

Excavaciones no profundas produjeron gratificantes resultados. Hecho que fue reconocido por la misma compañía demasiado tarde. La compañía británica estuvo literalmente sentada en una mina fabulosamente rica, la de Rosario en Pachuca, y nunca se dio cuenta. Randall lo atribuye a su mala suerte⁷⁸. El problema real fue que la compañía no siguió una estrategia diversificada. Fue en los últimos años de su operación que se interesó en el distrito minero de Pachuca. Indudablemente la mina de Rosario en Pachuca pudo haber salvado de la quiebra a los británicos, pues hizo ricos a sus sucesores.

Elhuyar en sus reportes al virrey explicó claramente que dada la inconsistencia de las vetas de plata, antes de invertir en una máquina de vapor, se debía tener una certeza

⁷⁷ Newton R. Gilmore, ... Op. Cit., pp. 139, 164

⁷⁸ Randall W. Robert, *Op. Cit.*, p. 239

basada en estudios de las minas. Sólo así se podía planear instalarla en minas que poseyeran filones suficientemente ricos que sobrepasaran la inversión de la máquina y del desagüe.

Los ingleses nunca hicieron caso de ese consejo. En repetidas ocasiones drenaron minas sólo para descubrir que estaban exhaustas o con poco mineral que extraer. Dieron preferencia a los trabajos profundos en la Vizcaína mediante máquinas de vapor. Esto con el objetivo de explotar una gran masa de rico mineral que se suponía había sido encontrado en 1801 por el tercer conde de Regla, pero que en realidad no fue tan abundante como supusieron.⁷⁹ La compañía británica frecuentemente terminó decepcionada. Muchas veces, enseguida de drenar una mina descubría que su mineral estaba agotado.

El tiro de Terreros⁸⁰ en Real del Monte es un ejemplo de las muchas experiencias amargas que tuvieron los británicos. Con excesiva confianza en la máquina de vapor, los británicos se dedicaron a profundizar cada vez más los trabajos en busca de filones de gran riqueza. En consecuencia fue necesario equipo más grande y potente para satisfacer los requerimientos de bombeo. En el tiro de Terreros, los ingleses esperaban encontrar un yacimiento de 125 metros de tamaño y con mineral de buena ley, sólo encontraron una veta del tamaño de 42 metros, la que produjo plata por valor de 300,000 pesos, esto sucedió a principios de 1834. El costo del tiro que se construyó para poder llegar al yacimiento anteriormente referido, fue de 243,000 pesos, un monto casi igual al mineral extraído.

⁷⁹ *Ibid*, p. 233

⁸⁰ La gráfica N° 1 muestra la profundidad que había alcanzado el tiro de Terreros en 1834. El plano perteneció a la compañía inglesa, actualmente es parte del Acervo Histórico del Palacio de Minería.

En el caso descrito anteriormente, el problema no sólo fue que encontraron menos mineral del que esperaban, el problema más grande fue que “a la profundidad de 240 varas debajo del socavón al que había llegado el tiro de Terreros con el auxilio de la máquina de vapor, era tan abundante el agua que ya no bastaba la potencia de la máquina para mantenerla drenada y avanzar el tiro, por lo cual se estableció una máquina de más potencia y de 75 pulgadas de diámetro incrementando enormemente los costos”.⁸¹

Otra negligencia por parte de los británicos fue la de no recurrir al uso del socavón. La compañía inglesa basó el desagüe en el uso de máquinas de vapor en tiros generales. No consideró a los socavones como una técnica útil. Cuando la abundancia de aguas subterráneas mostró la insuficiencia de sus máquinas y la necesidad de máquinas cada vez más grandes y costosas, se enfrentaron a problemas graves, y quedó al descubierto su más costoso error: el no haber trabajado y terminado el socavón Aviadero.⁸²

⁸¹ Burkart, Joseph, Op. Cit., p. 46

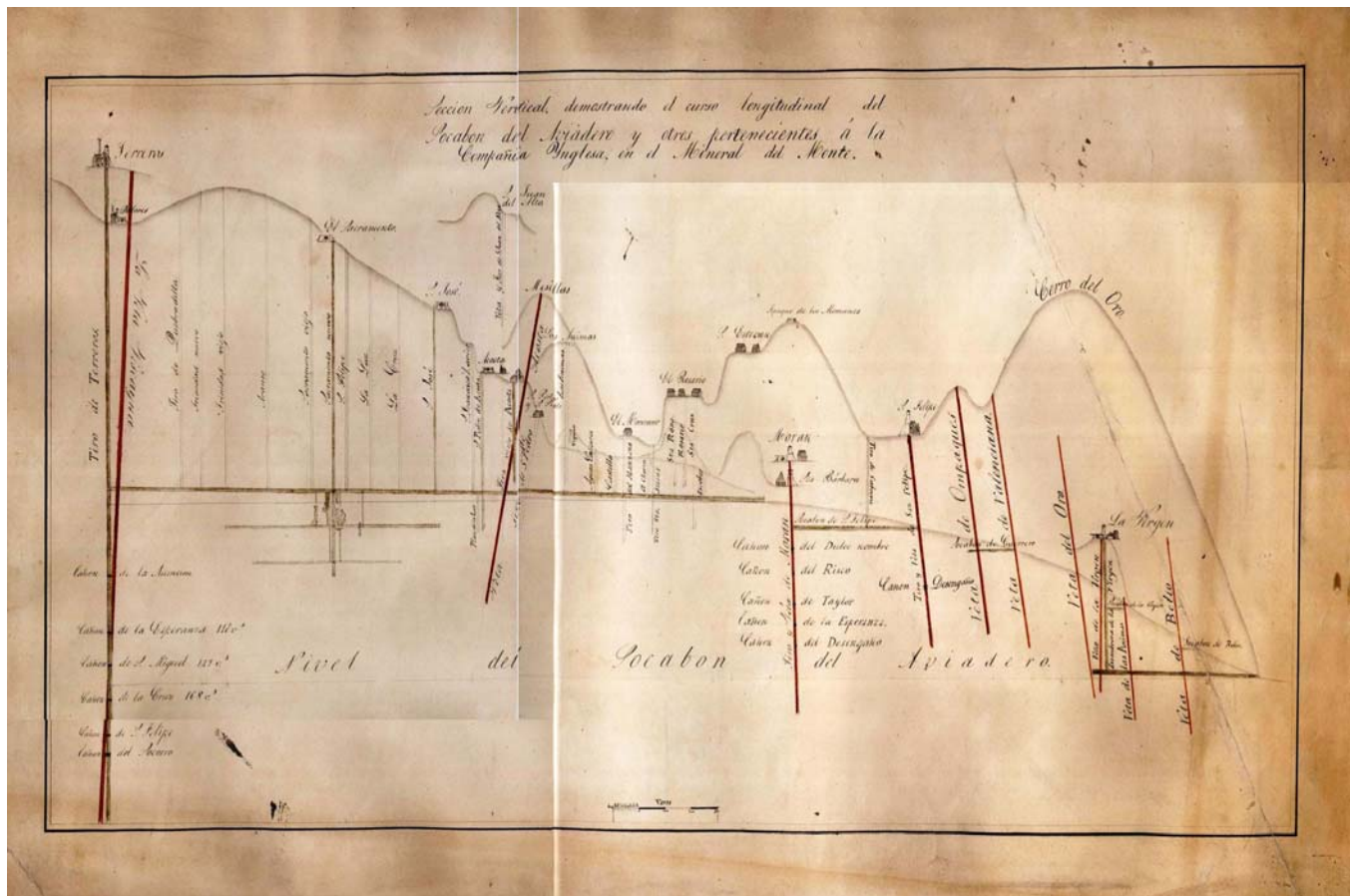
⁸² Nota: La siguiente cita se refiere a un documento elaborado por el representante del tercer Conde de Regla. Incluye un capítulo dedicado al proyecto del socavón Aviadero. Explica la estrategia de construcción y costo, así como el beneficio que traería al drenar todo el distrito minero de Real del Monte: *El MANIFIESTO de la riqueza de la negociación de minas conocida por la VETA VIZCAÍNA*. Ubicada en el Real del Monte, jurisdicción de Pachuca, de las grandes obras que de ella se hicieron, y del estado actual en que se halla, para la compañía de accionistas que desea celebrar a fin de continuar su laborío bajo las condiciones que se expresan. Su actual poseedor el señor D. Pedro Josef Rodríguez Saenz de Pedroso, Romero de Terreros Tercer Conde de Regla. Lo escribió de su orden; D. Josef Rodrigo de Castelazo, perito facultativo de minas por el Real Tribunal General de Minería de ésta Nueva España. Con superior permiso; este texto fue impreso en la Casa de Ontiveros, en el año de 1820. Este documento consta de 35 páginas, y fue obtenido de The Bancroft Library de la Universidad de California Berkeley, con la siguiente clave bibliotecaria: F1221, 4, C15, X. El texto extraído de este documento, se exhibe en el anexo N° 1.

La grafica N° 1 muestra el trazo por donde pasaría el socavón Aviadero, atravesando todas las minas del distrito para desaguarlas. Como se dijo anteriormente, este plano perteneció a la compañía inglesa y actualmente está bajo resguardo del AHPM.

John Buchan, el último director de la compañía inglesa, hace las siguientes observaciones sobre el socavón del Aviadero y la negligencia con que vio esta obra la compañía inglesa:

[...] Si la compañía inglesa hubiera seguido sin interrupción la excavación del socavón Aviadero, aplicándole solamente las sumas que invirtió en el establecimiento de máquinas de vapor de más potencia, hace tiempo que la obra hubiera llegado a la veta, y sin duda hubiera dado otro giro á los negocios de la compañía. [...] De modo que hubiera desaguado todos los laboríos, y hubiera permitido ahondar abajo de aquel nivel como lo hizo el conde de Regla con el primer socavón, contándose además con las ventajas de las máquinas de vapor, pero desgraciadamente se prefirió el método, que se creyó mas rápido, de profundizar las minas á fuerza de poderosas máquinas de vapor, al mas lento, pero mas seguro, de avanzar el socavón hasta comunicarlo.⁸³ La gráfica N° 1, muestra la dirección longitudinal del socavón Aviadero planificado para desaguar todo el distrito de Real del Monte desde el año de 1820.

⁸³ Burkart, Joseph, ... Op. Cit., p. 56



GRÁFICA N° 1

La gráfica N° 1, es una sección vertical que muestra el curso longitudinal del socavón Aviadero con el que se planeo desaguar todo el distrito minero de Real del Monte. El plan de construcción del socavón se dio a conocer en 1820 por el tercer conde de Regla. Se expone el trazo vertical del tiro de Terreros que muestra la profundidad de las excavaciones que dificultaban el desagüe aún con máquinas de vapor. También se localiza el plano vertical de la mina de Morán, en la cual se estableció primero la máquina de columna de agua y posteriormente la primera máquina de vapor. Este plano perteneció a la Compañía Inglesa Real del Monte quien explotó este distrito minero en el periodo 1825-1839. Actualmente el plano está bajo resguardo del AHPM sin catalogación.

II. MÁQUINA DE COLUMNA DE AGUA

La construcción e instalación de una máquina hidráulica requería un amplio conocimiento de matemáticas y principios elementales de física, y un entendimiento amplio y profundo de las características de la minería novohispana. Por lo descrito, la falta de alguno de estos ingredientes frustró varios diseños que se intentaron ejecutar durante el siglo XVIII para el desagüe de las minas. Con el Colegio de Minería ya en funciones la tentativa pudo realizarse. Dos de sus más destacados profesores, Fausto de Elhúyar y Andrés del Río⁸⁴, intentaron proporcionar a las minas un sistema de desagüe más eficaz del que se empleaba. Tanto Elhuyar como del Río intentaron introducir bombas hidráulicas en

⁸⁴ **Andrés del Río** 1764-1849, nació en Madrid y provenía de una familia modesta. Inició sus estudios en los clásicos griegos y latinos en el Real Colegio de San Isidro; a los 16 años, se graduó de bachiller en la Universidad de Alcalá de Henares, donde inició su preparación en física experimental. En 1782, el gobierno español lo becó para que continuara estudiando en la Real Academia de Minas de Almadén. El ministro Diego Gardoqui decidió apoyarlo para que aumentara sus conocimientos en los centros científicos más importantes de Francia, Inglaterra y Sajonia. En 1783, del Río viajó a París para instruirse en medicina y química en el Collège Royal de France. Después de cuatro años, el joven madrileño se interesó por el estudio de la física y las matemáticas, por lo cual en 1787 ingresó a la Real Academia de Minas de Freiberg para estudiar geometría subterránea y el arte de ensayar los minerales. Del Río realizó diversas exploraciones científicas por los distritos mineros de Sajonia, Hungría e Inglaterra. Después, se trasladó a París para trabajar al lado de Antonio Lorenzo Lavoisier. En octubre de 1792, cuando del Río se encontraba en Hannover, recibió una carta de Gardoqui en la que le comunicaba que había sido nombrado para ocupar una cátedra en el Colegio de Minería de Nueva España y en consecuencia debía regresar a la península con el fin de preparar su traslado”. Flores Clair Eduardo, *Minería, educación y sociedad, el Colegio de Minería 1774-1821*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2000, p. 239: p. 155.

Fue catedrático del Colegio de Minería, tradujo del alemán varias obras para el Colegio, entre ellos, *Geometría subterránea* de Lempe” (Escamilla González Omar, “Ilustración alemana y ciencia novohispana: la biblioteca de Fausto de Elhuyar”, en *Alemania y México, percepciones mutuas en impresos, XVI-XVIII*, Pietschman Horst *et all*, edit. México, Universidad Iberoamericana, 2005, p. 445). Del Río tradujo: *Ensayo de una nueva teoría de los principios de Hidrodinámica y pyrometría*, del matemático alemán kart von Langdorf (Elhuyar Fausto, *Contestación a la vindicación*, México, Oficina de Don Mariano de Zúñiga y Ontiveros, calle del Espíritu Santo, año de 1807. pp. 15, 25, 26.) Del Río y su contribución a la tecnología: la máquina de columna de agua y la ferrería de Calcomán (Rubinovich Kogan Raúl, en su introducción a la obra de Andrés del Río, *Elementos de Oricognosia, 1795-1805*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1992)

Fue miembro de la Real Academia de Ciencias de Madrid, de la Sociedad Werneriana de Edimburgo, de la Real Academia de Ciencias del Instituto de Francia, de la Sociedad Económica de Leipzig, de la Sociedad Linneana de Leipzig, de la Real Academia de Sajonia, de la Sociedad Filosófica de Filadelfia, Presidente de la Sociedad Geológica de Filadelfia y del Liceo de Historia Natural de Nueva York, entre otras muchas. <http://es.wikipedia.org>

diversas minas,⁸⁵ siguiendo lo dispuesto en las Ordenanzas de Minería de 1783 de que había que estimular las inversiones para el mejoramiento tecnológico de la minería.

Fausto de Elhuyar refiriéndose a la máquina de columna de agua que se estableció en la mina de Morán en Real del Monte, durante el periodo 1801-1811, explica que esta máquina no era un mecanismo novedoso. Llevaba en uso en Europa más de cincuenta años, lo que la hacía recomendable, aparte de que garantizaba muchas ventajas en relación a los malacates. El mérito de Andrés del Río y del Colegio de Minería radica en que crearon un diseño adaptable a una mina profunda. Además que su construcción fue realizada por primera vez en la Nueva España, y el diseño y funcionamiento resultó mejor que todas las máquinas de la misma especie establecidas en Hungría y Sajonia.⁸⁶

La documentación que se tiene sobre el funcionamiento de esta máquina asegura su portentoso funcionamiento y un gran ahorro económico para el desagüe. Hay quienes la descalifican porque no se logró mantener drenada la mina de Morán con dicha máquina. Pero los documentos muestran que no se debió a la máquina, sino a la insuficiencia de agua necesaria para moverla durante todas las estaciones. Su funcionamiento demostró que se podía utilizar en cualquier mina que dispusiera de corriente de agua suficiente durante todo el año.

⁸⁵ Trubulse Elías... *Op. Cit.*, p. 186

⁸⁶ Elhuyar Fausto, *Contestación a la vindicación*, México, Oficina de Don Mariano de Zúñiga y Ontiveros, calle del Espíritu Santo, año de 1807. p. 41: p. 40.

II.1. Origen centroeuropeo de la máquina de columna de agua.

Para encontrar el origen de la máquina de columna de agua que se construyó e instaló en Real del Monte hay que estudiar cual fue la formación técnica y científica de sus creadores. Omar Escamilla⁸⁷ documenta que Fausto de Elhuyar y Andrés del Río poseían una sólida formación científica centroeuropea de lengua alemana. Elhuyar egresó de la escuela de Friburgo en 1781. Su biblioteca personal reflejaba la formación científica que recibió en Alemania y las innovaciones que aportó a la educación minera novohispana. No es extraño que Elhuyar, con la ayuda de del Río, hayan formado el Seminario de Minería en 1792 siguiendo el modelo de las academias de minas centroeuropeas de habla alemana que se habían fundado durante el último tercio del siglo XVIII.

Andrés del Río había egresado también de la academia de Friburgo y realizado una estancia en Schemnitz. Inmediatamente después de su llegada a México en 1794, del Río se dedicó a escribir sus *Elementos de arictognosia*, basados en la clasificación mineralógica de caracteres externos de Abraham Gottlob Werner. La primera parte se imprimió en 1795, y la segunda, en 1805.

La imposibilidad de enseñar alemán a los alumnos del Real Seminario de Minería obligó a Fausto de Elhuyar a encargar traducciones de textos originales que incluyeran el conocimiento impartido en las academias alemanas. En 1802, Elhuyar pidió a del Río que

⁸⁷ Escamilla González Omar, “Ilustración alemana y ciencia novohispana: la biblioteca de Fausto de Elhuyar”, en *Alemania y México, percepciones mutuas en impresos, XVI-XVIII*, Pietschman Horst et al edit. México, Universidad Iberoamericana, 2005, p. 401

tradujera la *Geometría subterránea* de Lempe, texto que ambos utilizaron en Friburgo, o que escribiera un texto, basado en ella, para los alumnos del Seminario de Minería. Otro libro importante que Andrés del Río tradujo fue *Ensayo de una nueva teoría de los principios de hidrodinámica y pirometría* de Karl Von Langsdorf el cual fue de gran utilidad para los experimentos que Fausto del Elhuyar llevó a cabo para encontrar el diseño de sus bombas movidas por bestias.⁸⁸

John Taylor reproduce las impresiones que tenía Humboldt de Andrés del Río: “el señor del Río, profesor de mineralogía en México, conoció las minas más importantes de Europa y posee los conocimientos más sólidos al respecto.”⁸⁹ Joaquín Izquierdo sostiene que desde que Elhuyar y del Río llegaron al país tenían ya el firme propósito de demostrar a los mineros mexicanos las excelencias de otro tipo de bombas empleadas en Alemania: las de columna de agua.⁹⁰

Jaime Vilchis y Victoria Arias plantean que la máquina de columna construida por Andrés del Río tuvo su antecedente en las de Europa central y que sus esfuerzos fueron interrumpidos por el comienzo de la guerra de independencia.⁹¹ En la mina de Morán se hicieron experimentos con bombas hidráulicas de tipo húngaro⁹²

⁸⁸ *Ibid*, p. 445. Cfr, Elhuyar Fausto, *Contestación a la vindicación*, México, Oficina de Don Mariano de Zúñiga y Ontiveros, calle del Espíritu Santo, año de 1807. p. 41: p. 15, 25, 26.

⁸⁹ Taylor John, *Op. Cit.*, pp. 279-280

⁹⁰ Izquierdo José Joaquín, *La primera casa de las ciencias en México, el Real Seminario de Minería; 1792-1811*, México, Ediciones Ciencia, 1958, p. 181

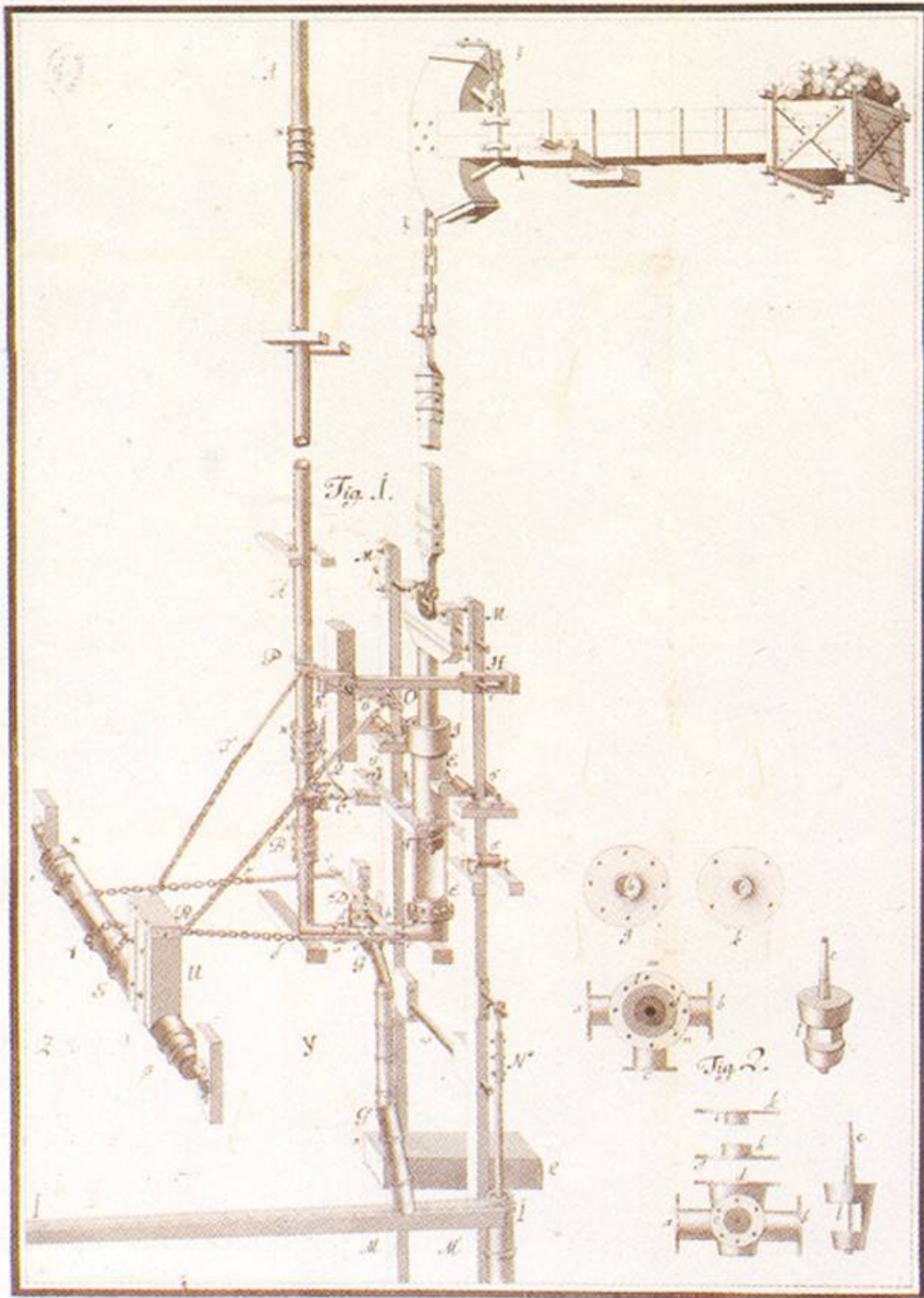
⁹¹ Vilchis Jaime y Victoria Arias, *Ciencia y Técnica entre el viejo y el nuevo mundo, XV-XVIII*, Madrid, Ministerio de Cultura, 1992, p. 90

⁹² Brading A. David*Op. Cit.*, p.228

Se conoce una gráfica, perteneciente a Andrés del Río, de la máquina de columna de agua para desaguar minas utilizada en Schemnitz, Hungría en 1788. Dicha máquina fue diseñada por el señor Tlustlos y perfeccionada por el señor Holl.⁹³ La máquina que se muestra en el plano es un antecedente y posiblemente es la máquina en la que se basó Andrés del Río para construir la que él diseñó para la mina de Morán, por lo que se incluye dicho plano en la (Gráfica N° 2)⁹⁴

⁹³ Vilchis Jaime....*Op. Cit.* , p. 94

⁹⁴ El plano que se incluye como gráfica N° 2 en este trabajo, se conserva en el: *AGI, Sevilla, MP, Minas, 48*



GRAFICA N° 2

Es un plano de la máquina de columna de agua para desaguar minas utilizada en Schemnitz, Hungría en 1788, el plano perteneció a Andrés del Río. Es un antecedente y posiblemente es la máquina en la que se basó Andrés del Río para construir la que se instaló mina de Morán en Real del Monte.

II.2. Instalación de la máquina de columna de agua en Morán

La máquina de columna de agua que diseñó Andrés del Río, se instaló en la mina de Morán en la parte de afuera cercas del tiro.⁹⁵ La Grafica N° 3 muestra la estructura donde se aloja una máquina de columna de agua instalada fuera de la mina.⁹⁶

El proceso de instalación de la máquina de columna de agua comenzó con el denuncia hecho por Andrés del Río de la mina Morán donde se planeó instalar. El denuncia fue hecho el 3 de enero de 1799⁹⁷, en el cual se asienta que: don Andrés del Río, natural de Madrid, catedrático de mineralogía en este Seminario y Colegio, don Pedro de Lachaussee oriundo de Bruselas, constructor de las máquinas del mismo Colegio, y don Nicolás Taburis originario de Saboya, vecinos y residentes, manifiestan:

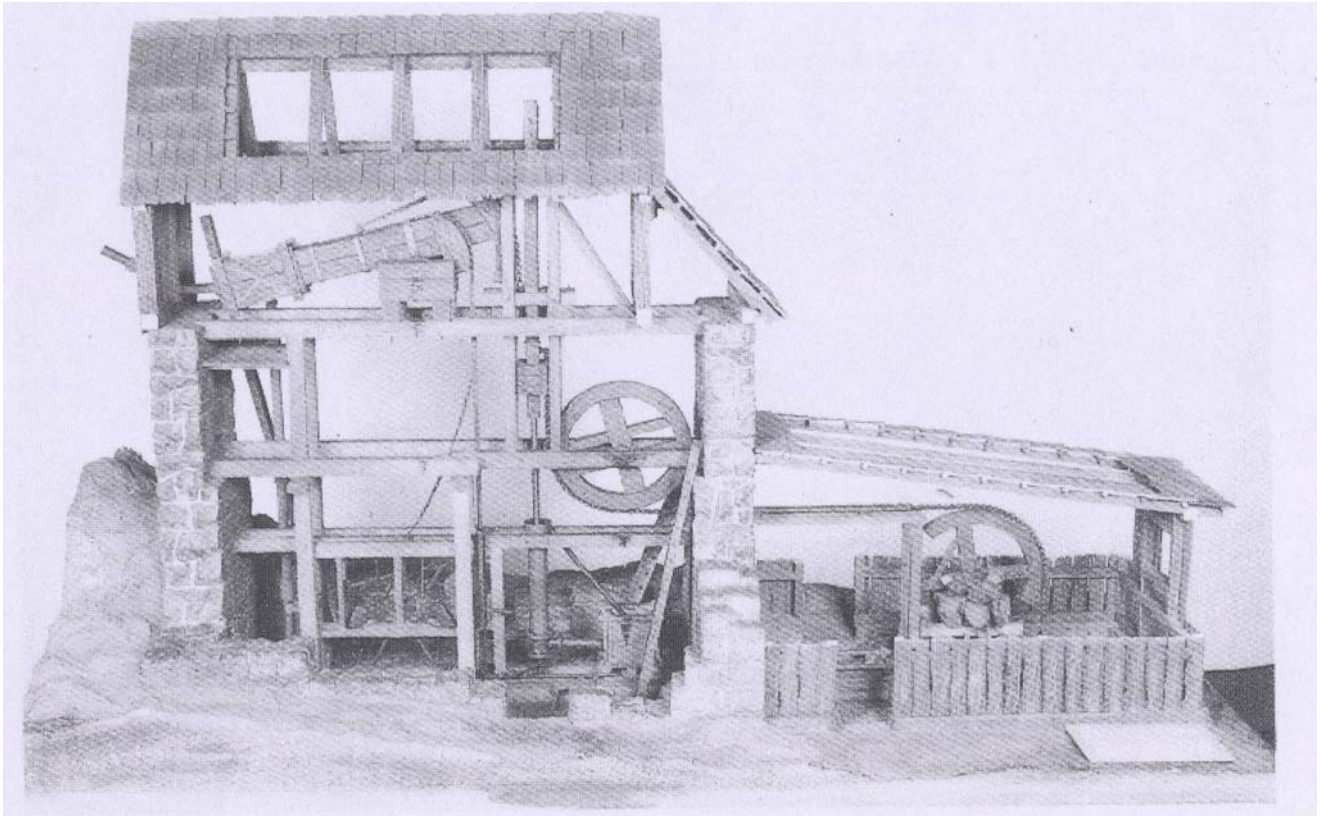
[...] que es notoria la bondad de las minas de Morán, Santa Bárbara, Dolores, y el Candado, en donde los abismos de agua impiden su importante labor, hallándose por lo mismo, despobladas por las gravísimas dificultades y cuantiosos gastos que ofrece su desagüe, destruyendo sus ademes y aterrados los tiros, cuyas lastimosas ruinas no pudieron repararse por el último poseedor, dejándolas en el mismo abandono, en el que por muchos años han permanecido.⁹⁸

⁹⁵ Ordoñez Ezequiel y Manuel Rangel, *El Real del Monte*, México, Instituto Geológico de México, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento, 1899, p. 55.

⁹⁶ Vilchis Jaime y Victoria Arias, *Op. Cit.* p. 90

⁹⁷ [Denuncia general hecho por Andrés del Río y compañeros a la mina de Morán, Santa Bárbara y anexas en el Real del Monte, 3 de enero de 1799] AHPM, Minas, V. 2, Exp. 18, f. 4

⁹⁸ *Idem.*



GRAFICA Nº 3

Maqueta de una máquina de columna de agua ya instalada afuera de la mina. Publicada por Jaime Vilchis y Victoria Arias, *Ciencia y Técnica entre el viejo y el nuevo mundo, XV-XVIII*, Madrid, Ministerio de Cultura, 1992, p. 94.

En el denuncia mencionado se dicen resueltos a emprender el desagüe de las minas citadas por medio de la máquina descifrada con el título de columna de agua. Esta máquina, ya aprobada por el Real Tribunal, se construiría a costo y costa de los denunciantes, quienes hicieron el denuncia de las referidas minas y de todas sus pertenencias, tiros, casas, escapaderos, galeras y demás, bajo la precisa obligación de cumplir con todas las exigencias marcadas por las Ordenanzas de Minas.

El proceso de instalación y funcionamiento, así como las dificultades encontradas para que la máquina se mantuviera en funcionamiento, se describe en el documento *Solicitud y extensión de gracia*⁹⁹. El documento inicia mencionando que una Real Ordenada en octubre de 1804 concedió gracia por quintos y azogue por todo el tiempo necesario para la construcción de la máquina de columna y su instalación en la mina de Morán para la más amplia y completa rehabilitación de la negociación.

Al inicio de la instalación, se consideró próximo el desagüe de Morán por medio de la nueva máquina de columna de agua, pero se menciona que encontraron muchas dificultades por lo que suspendieron la instalación de la máquina, posponiendo aproximadamente dos años su establecimiento, periodo en el cual sus accionistas tuvieron que efectuar repetidas exhibiciones de dinero sobre los 54,000 pesos. Razón por la cual solicitaron la extensión de las gracias concedidas desde el inicio.

⁹⁹ [Solicitud de extensión de la Gracia por quintos y azogue, pedida por Don Francisco Miao, Don Manuel Basai y Don Andrés del Río, diputados estos de la compañía de minas nombrada de Morán y sus anexos, situada en el Real del Monte, dirigida al Sr. Fiscal de Pachuca, México, 10 de julio de 1809] AGN, Minas, V. 58, exp. 2, fs 105-111, firmado por Andrés del Río.

Llegando por fin el día de ponerla en movimiento, “la referida máquina mostró desde luego su portentoso efecto en el desagüe de la mina, que vigorizó e inspiró confianza a los accionistas en su esperanza de poder drenar la mina”.¹⁰⁰

Pero al poco tiempo de estar funcionando la máquina se encontraron tales angosturas e irregularidades en el tiro de la mina en el que operaban sus bombas que hicieron necesario diferir su desagüe. Los progresos se entorpecieron con nuevas dilaciones y gastos para la compañía. Además de la necesidad de enderezar el tiro, que colmó la paciencia de algunos accionistas, les sobrevino otra calamidad de mayor trascendencia: “la disminución del tiempo que se disponía de agua debido a la seca de la corriente de agua, necesaria para el movimiento de la máquina, en términos de no recogerse la suficiente para moverla y tener por fin que parar la máquina totalmente, sin poder impedir que las aguas subterráneas volvieran a subir, llenándose los huecos que se habían desaguado.”¹⁰¹

Las dificultades para mantener funcionando la bomba desalentaron a algunos de los accionistas. Pero la firme constancia de los demás trató de vencer los nuevos obstáculos buscando arbitrios. Enderezaron el tiro, ganándole un tramo a la profundidad pero sin llegar al fondo para poder sacar algunos metales. Al disminuir la corriente de agua que daba movimiento a la máquina se volvió a suspender su uso.

En estas circunstancias los accionistas determinaron finalmente construir una nueva conducción de agua de 6 mil varas de longitud para aprovechar los manantiales más

¹⁰⁰ *Ibid.*, f. 106

¹⁰¹ *Ibid.*, f. 107

distantes. Esta decisión se tomó después de los reconocimientos y nivelaciones dificultosas y costosas. Como parte del mismo proyecto se decidió la construcción de una gran presa de mampostería en una de las cañadas intermedias. Esta presa recogería agua en la temporada de lluvia dejándola como reserva para la temporada de seca. Confiados que con estas nuevas obras alcanzarían completamente el fin de su importante empresa.

Tres años trabajaron en estas grandiosas faenas. En junio de 1809 tuvieron la satisfacción de ver concluidos en lo general la obra y continuaron en lo que faltaba para su perfecto arreglo. “Así fue que se reinició de nuevo el desagüe de Morán, con esperanzas muy fundadas de que no cese ya el giro de la máquina y descubran los planes de la mina”.¹⁰²

Como muestra de que la máquina de columna se mantuvo un tiempo en operación está el hecho de que fue necesario reemplazar varias partes principales y accesorios debido a su uso. Otras piezas fueron simplificadas y perfeccionadas en base a la práctica y experiencia.

El progreso del desagüe permitió reconocer la conexión de los laboríos de la mina Morán con las demás minas que sobre la misma veta conforman la compañía. Se procuró cuanto fue posible establecer la comunicación entre los laboríos. Limpiando sus cañones, a fin de facilitar las faenas subterráneas y con ese propio ahorro, se reconstruyó también el tiro nombrado Santa Bárbara que se encontraba destruido y arruinado. Santa Bárbara se escombró y reparó con ademes y obras de mampostería necesarias. Además se formó en su

¹⁰² *Ibid*, f. 108

boca un costoso andén y galera para establecer un segundo malacate, máquina provisional auxiliar de desagüe para facilitar el reconocimiento y laborío de las demás pertenencias, para hacer cuanto antes el uso de ellas. “Estas nuevas obras que emprendió la compañía, elevó los 54,000 pesos que llevan gastados cuando se consiguió la gracia de quintos y azogues, a cerca de 200,000 pesos, por lo cual pedían se les extendiera la gracia de quintos y azogues”.¹⁰³

Los accionistas explicaban que aunque ya contaban con la permanencia del desagüe faltaba acabar de perfeccionar el tiro, en la parte que, en la anterior temporada no pudo verse libre de las aguas. Se debió abrir comunicaciones directas de sus laboríos más bajos para el propio tiro. A fin de simplificar y uniformar su desagüe fue necesario escombrar y limpiar estos para descubrir su fondo y poder aprovechar los metales que se ofrezcan a medida que las aguas lo permitan. Planearon abrir comunicaciones seguidas con las demás pertenencias de la negociación para multiplicar y extender sus laboríos cuando lo permitieran las circunstancias. También proyectaron bocas y tiros nuevos adecuados para facilitar todas sus maniobras y faenas. Finalmente planearon la construcción indispensable al exterior: la hacienda o haciendas de beneficio.

Todas estas circunstancias obligaron a la inversión de mucho más dinero del que se consideró cuando la Real Hacienda otorgó las gracias de quintos y azogues. Por consiguiente era fundada la solicitud de la ampliación de tiempo y goce de la misma gracia.

¹⁰³ *Ibid*, f. 108v

“[...] hasta que la compañía haga sus primeros depósitos en la Real Caja de Pachuca. Pues hoy día la compañía sigue erogando gastos sin beneficio alguno.”¹⁰⁴

John Taylor en su libro¹⁰⁵ reproduce las impresiones de Humboldt cuando estuvo en la Mina de Morán en 1803:

[...] En la mina de Morán, fue instalada en 1801 una máquina de columna de agua, cuyo cilindro tenía 10.23 pulgadas de altura y 6.29 pulgadas de diámetro, esta excelente máquina poseía un mecanismo especial para activar el regulador de los émbolos, es la primera de su tipo construida en América, y es muy superior a las que existen en Hungría, fue construida con los diseños y cálculos del señor del Río, profesor de mineralogía en México, quien conoció las minas más importantes de Europa y posee los conocimientos más sólidos al respecto. [...] Cuando estuve en Morán la máquina solo trabajaba 3 horas al día, debido a la insuficiencia de agua para moverla. La construcción de la máquina y el acueducto para surtirla de agua costó 10,937 libras esterlinas, el doble de lo que inicialmente se había calculado. [...] Se espera que con el nuevo canal que se está construyendo y que tendrá 16,404 pies de extensión remediará la falta de agua. [...] Uno de los propósitos del señor del Río al construir esta máquina era el de mostrar a los mineros mexicanos los efectos de este tipo de máquinas y la posibilidad de construirlas en el país, cuyo propósito fue logrado.¹⁰⁶

¹⁰⁴ *Ibid*, f. 110v

¹⁰⁵ Taylor John, Op. Cit., pp. 279-280

¹⁰⁶ *Idem*.

Taylor afirma tener información de que la máquina de columna de agua instalada en Morán logró su cometido de sacar el agua con bombas de 9 pulgadas, cuando operaban 12 horas diarias.¹⁰⁷

Se menciona el hecho de que la máquina de columna de agua resultó costando más del doble de lo inicialmente planeado. Es importante aclarar que el aumento real no fue en el costo de la máquina, lo que incrementó significativamente su costo fueron los trabajos de instalación y operación. Al respecto el mismo Andrés del Río dice “El abocinamiento del tiro, en que se puso la máquina, fue su mayor obstáculo, en enderezar el tiro, se gastaron la paciencia y los bolsillos.”¹⁰⁸

Otros autores corroboran la primacía de la bomba hidráulica diseñada por del Río, “es la primera bomba de ese tipo que se construyó en América en 1805.”¹⁰⁹

El proyecto de desagüe de la mina de Morán con la máquina de columna de agua se volvió a interrumpir debido al movimiento de Independencia. De 1810 a 1821, México estuvo sujeto a la guerra de emancipación. En estos años gran parte de México, al menos cada pueblo grande o ciudad, fue afectado por el conflicto. Tropas revolucionarias actuaron en Coahuila, Zacatecas, Guanajuato, Guadalajara, Michoacán, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Puebla, y Oaxaca. Todos los distritos mineros sufrieron en busca de provisiones, dinero y soldados.

¹⁰⁷ Taylor John, ... Op. Cit. XVI.

¹⁰⁸ Díaz y de Ovando Clementina, *Los Veneros de la ciencia mexicana*, T. 1, México, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1998, 954 p. 140

¹⁰⁹ Prieto Carlos, *Andrés Manuel del Río y su obra científica*, México, Compañía Fundidora de Fierro de Monterrey, 1966, 81 p.

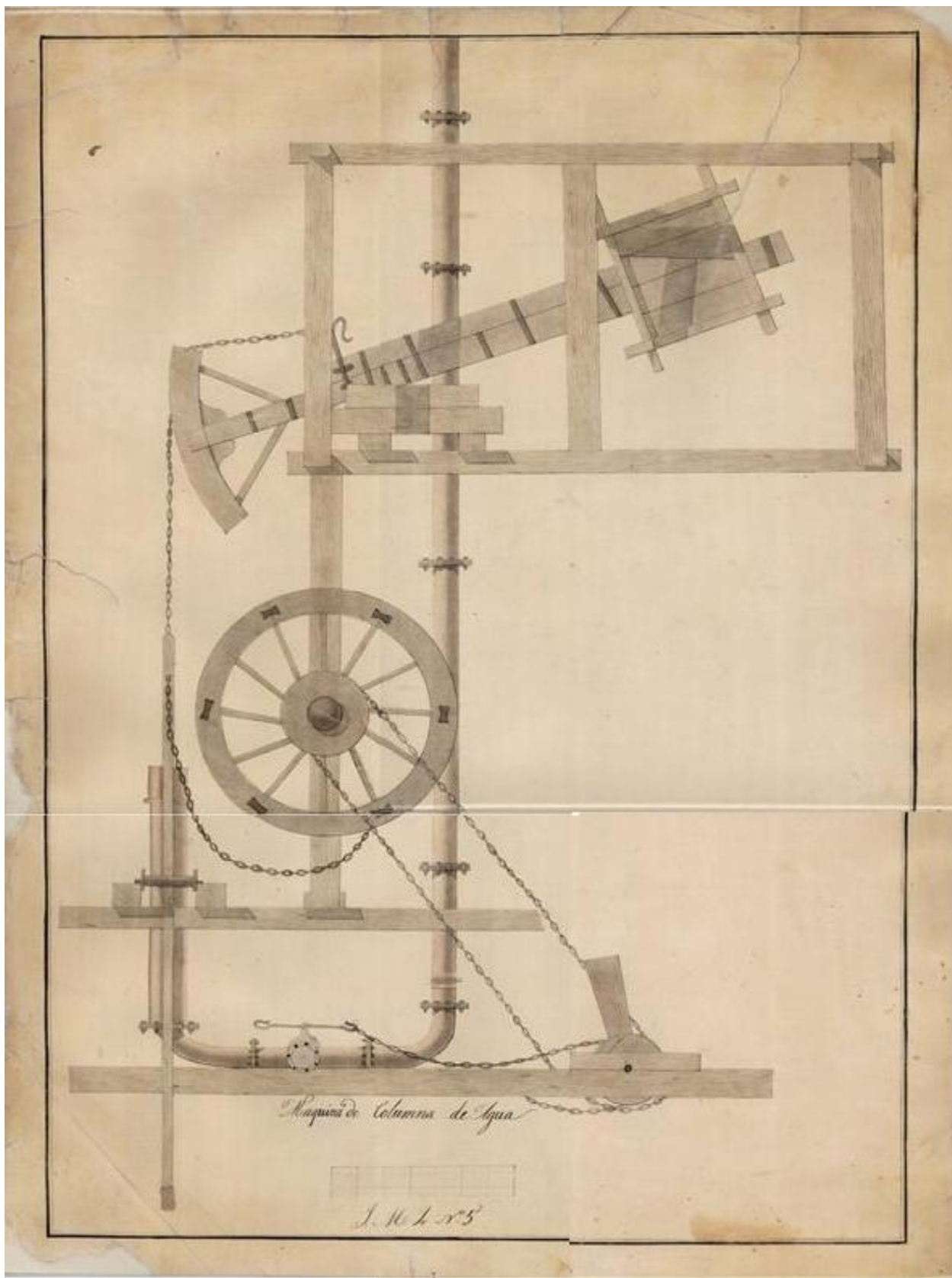
Fue evidente la gran alteración que sufrió toda la minería en el periodo de la Independencia¹¹⁰. Específicamente lo que sucedió en Morán en ese periodo no se conoce. En este trabajo me limitaré a aceptar la afirmación en el sentido de que los esfuerzos de desagüe en la mina de Morán iniciados por Andrés del Río con la máquina de columna de agua fueron interrumpidos por la guerra de Independencia.¹¹¹

El Archivo Histórico del Palacio de Minería (AHPM) posee varios dibujos de máquinas de columna de agua elaborados por los alumnos del colegio en 1838. Por la temporalidad se supone que corresponden al tipo de máquina que diseñó el señor del Río. Uno de estos dibujos se incluye en éste trabajo (Gráfica N° 4).

Se tiene conocimiento de otra máquina de columna de agua instalada en la misma mina de Morán en 1884. Con el objeto de proporcionar información de las partes y mecanismos principales que integran este tipo de máquinas, así como los procesos básicos de su funcionamiento se incluye la siguiente información:

¹¹⁰ María Eugenia Romero Sotelo documenta qué: “la Guerra de Independencia puso en jaque la producción de la industria platera colonial. La caída de la producción minera entre 1810 y 1821 se debió a que la guerra produjo la dislocación de los circuitos comerciales. Al estallar la guerra los ejércitos se apropiaron de los caminos, afectando las principales líneas de comunicación de la Nueva España: el nexo entre la ciudad de México y el Bajío; la ruta del Bajío con las Provincias Internas; el camino a Acapulco; el camino Veracruz-Puebla, etcétera. Las consecuencias de la fractura de estos circuitos comerciales fueron: Disrupción del sistema de crédito, [...] migración de los operarios mineros de sus centros de trabajo, problemas de abasto y encarecimiento de los insumos, como maíz, paja, magistral, azogue y demás artículos necesarios para el trabajo de las minas. [...] Falta de numerario en los reales mineros”. Romero Sotelo María Eugenia, *Minería y Guerra, la economía de la Nueva España 1810-1821*, México, Colegio de México, p. 177.

¹¹¹ Vilchis Jaime y Victoria Arias, *Ciencia y Técnica entre el viejo y el nuevo mundo, XV-XVIII*, Madrid, Ministerio de Cultura, 1992, p. 501



GRAFICA N° 4

Dibujo de una máquinas de columna de agua, elaborados por los alumnos del Colegio de Minería. El Archivo Histórico del Palacio de Minería (AHPM) posee varios dibujos de este tipo de máquinas, sin catalogar.

Con el fin de desaguar las vetas más profundas de la mina de Morán, aprovechando la infraestructura utilizada décadas atrás para el funcionamiento de la máquina de columna de agua diseñada por el señor del Río, “la Compañía de Real del Monte y Pachuca instaló otra máquina de columna de agua traída de Inglaterra, la cual comenzó a trabajar en 1885”¹¹²

El agua que movía la máquina de Morán se tomaba de la presa llamada del Rey, cuyo contenido se estima en 120.00 metros cúbicos; por una atarjea se llevaba hasta el estanque de Los Alemanes, de donde salía entubada hasta llegar a la máquina situada dentro de la mina al nivel del socavón del Aviadero, por donde se le daba salida juntamente con la de la mina que la máquina subía hasta este nivel. Del estanque de Los Alemanes a la boca del tiro de Morán hay una altura vertical de 105 metros y de este punto al socavón del Aviadero 118; “la caída total disponible entre los dos puntos extremos de la tubería era pues de 223 metros”.¹¹³

El diámetro del cilindro es de 0.40 m. y la carrera de 2.50 m; marchaba con una velocidad de siete golpes por minuto, desarrollando en estas condiciones un trabajo de 75 caballos. “Esta máquina, cuya capacidad se calculó para desarrollar 400 caballos, fue traída de Inglaterra y costó ya instalada en el tiro de Morán la cantidad de 19,838 pesos”.¹¹⁴

Con el objeto de proporcionar información de las partes y mecanismos principales que integran este tipo de máquinas, así como los procesos básicos de su funcionamiento se

¹¹² Ordoñez Ezequiel, ... Op. Cit., p. 55

¹¹³ *Idem.*

¹¹⁴ *Ibid*, p. 56

incluye un plano de esta máquina en la Gráfica 5 y la explicación siguiente de sus partes y funcionamiento:

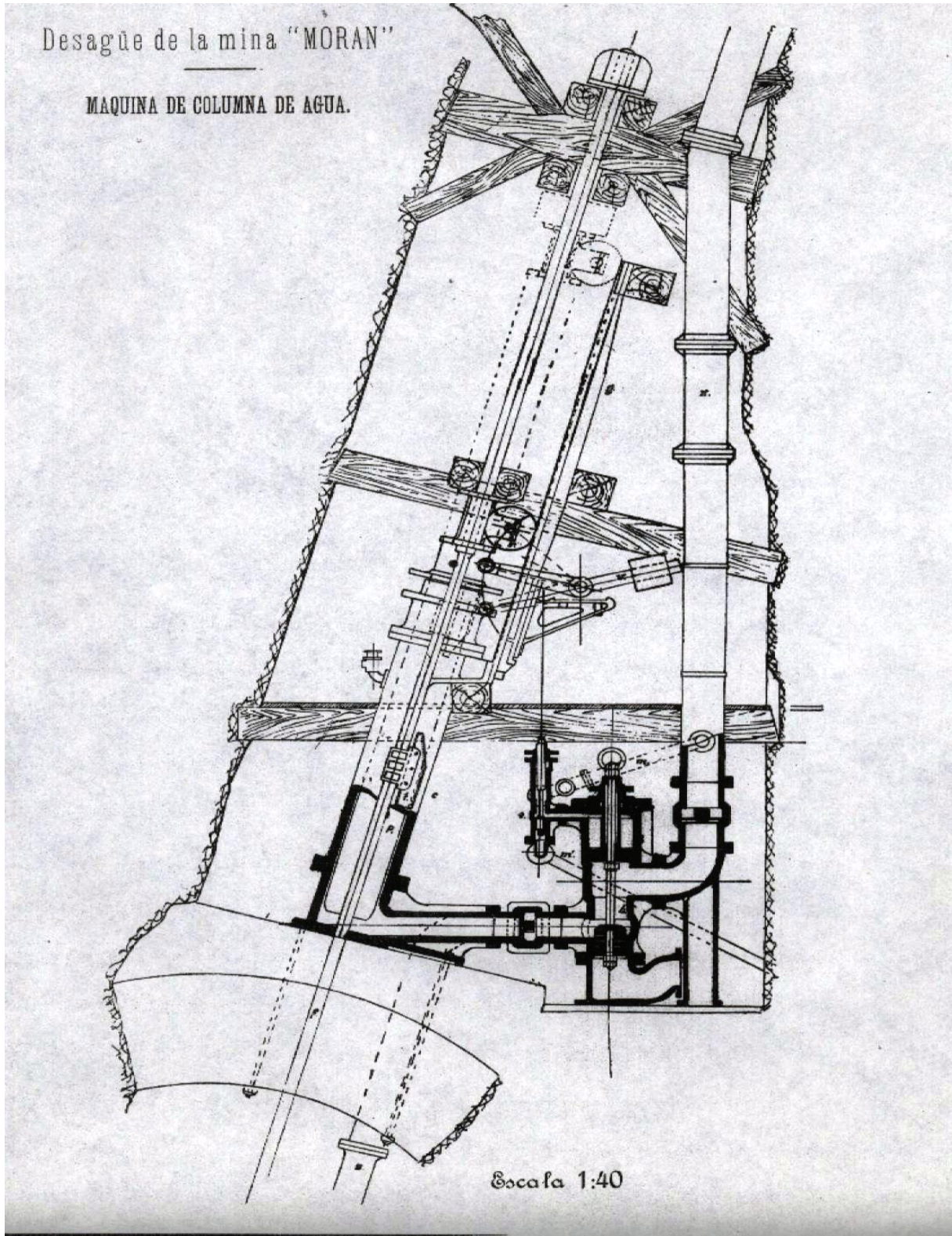
[...] La gráfica representa el momento en que se prepara la entrada del agua al cuerpo de bomba de la máquina para empezar el movimiento ascendente del émbolo. El agua que viene por el tubo X pasa por B al tubo horizontal que establece la comunicación con el cuerpo de bomba, y obrando sobre el plumier (pistón de la bomba) (p) lo levanta hacia arriba y con él por medio de la varilla (f) la cadena que mueve la bomba y que hace salir el agua de la mina por el tubo (z). El tope (t) en su movimiento ascendente levanta la palanca (b) al terminar la carrera ascendente del émbolo, y por medio de una biela unida á esta palanca la válvula (a) se levanta, abre el conducto (m') y el agua que obra sobre la parte superior del émbolo que arregla la admisión del agua en el cuerpo de bomba de la máquina sale. Con esto se levanta el émbolo (b) abriendo el escape y cerrando la admisión, con lo que empieza el movimiento descendente del émbolo producido por el peso de la cadena. Un tope simétrico al anterior obliga a bajar la varilla (b) y con ella al émbolo (a) cerrando el conducto (m') y permitiendo al agua bajo presión que viene por el conducto (m) que llegue a la cara superior del émbolo que arregla la distribución. Este baja, y con él, el émbolo (b), con lo que queda abierta la admisión y comienza el golpe ascendente. El émbolo (b) que por su movimiento ascendente y descendente cierra la admisión y abre el escape ó viceversa, está unido por medio de una varilla a un émbolo de superficie un poco mayor y que se ve en la figura al lado de (m'); por esto cuando se establece la comunicación entre la cara superior de este émbolo y la atmósfera por

medio del tubo de escape (m'), el exceso de presión lo obliga a levantarse hacia arriba; lo contrario sucede cuando al bajar la válvula (a) llega el agua por (m). Un aparato especial permite abrir más ó menos una válvula y graduar así la velocidad con que entra ó sale el agua del cuerpo de bomba (e) con lo cual se arregla la velocidad de la máquina. Como el tiro es de arrastre, para evitar la flexión de la varilla del émbolo lleva ésta una rueda (r) que se mueve sobre la corredera (g). La parte superior de la varilla lleva un tope que chocando contra fuertes piezas de madera detiene el movimiento del émbolo antes de que toque al fondo del cuerpo de la bomba.¹¹⁵

¹¹⁵ *Idem.*

Desagüe de la mina "MORAN"

MAQUINA DE COLUMNA DE AGUA.



Escala 1:40

GRÁFICA Nº 5

Máquina de columna de agua que la Compañía Real del Monte y Pachuca trajeron de Inglaterra y la instaló en la mina de Morán y comenzó a trabajar en 1885.

III. BOMBAS HIDRÁULICAS MOVIDAS POR BESTIAS

El profesor de Física Juan José de Oteiza en su discurso¹¹⁶ leído en el acto público de física en el Real Seminario, el 19 de agosto de 1805, menciona que Fausto Elhuyar, como director del Tribunal de Minería, publicó la muestra más acabada de sus esfuerzos por mejorar la técnica hidráulica. Además, su discurso tenía el propósito de describir un modelo de bomba hidráulica construida por Fausto Elhuyar, demostrar las cualidades de dichas bombas y contradecir el dictamen desfavorable que, en contra de esta bomba, había formulado Joaquín de Zarauz, Capitán de Navío de la Real Armada.

Juan José de Oteiza expone que el señor Director General de Minería, Fausto Elhuyar, realizó en presencia de los catedráticos de ese Real Seminario muchos experimentos durante más de un año, llegando a perfeccionar las bombas hidráulicas que hasta entonces no se conocían. Además de que eran máquinas muy sencillas para ser movidas por bestias, las cuales sustituirían al malacate que regularmente se usaba para el desagüe de las minas. Se esperaba que con esta innovación se obtuvieran grandes ventajas para la minería.¹¹⁷

La descripción que de la bomba creada por Elhuyar hizo Juan José de Oteiza fue la siguiente:

¹¹⁶ [Discurso leído en el acto público de Física del Real Seminario de Minería la tarde del 19 de agosto de 1805, por el profesor de física, Juan José de Oteiza sobre las bomba hidráulicas construidas por Fausto de Elhúyar] AHPM, Documentos de Elhuyar 1778-1822, ML-357-B, fs. 205-212v

¹¹⁷ *Ibid.*, f. 205

[...] Esta nueva bomba se distingue, entre otras cosas de las comunes, en que no tiene el cuerpo de la bomba entre los tubos de aspiración y elevación, sino a un lado; esta disposición tiene la ventaja de acortar la vara del émbolo, facilitar su correspondencia al eje del tirante general por medio de un bastidor, para evitar el coceo [jaloneo] y poder untar a menudo con alguna grasa el cuerpo de la bomba, para disminuir el rozamiento.[...] Lo tubos de elevación son de un diámetro mucho menor que el del cuerpo de la bomba, lo que disminuye mucho el costo; facilita la adquisición de maderas de suficiente grueso; y permite hacerlos mucho más altos, con ahorro de muchas piezas de fácil descompostura y disminución de rozamiento. No causa el formidable aumento de potencia que ha sido el terror de los matemáticos, y que ha desmentido enteramente la experiencia. Las válvulas consisten en un disco de bronce insertado por dos orejas en dos pilares laterales, y por una espiga, que tiene en su centro por la parte superior, en un casquillo afianzado por un puente a los pilares laterales. Apoyadas en estos tres puntos suben y bajan fácilmente sin desviación, y descansan sobre los bordes de un cilindro hueco, que rodea el agujero por donde debe pasar el agua; son todas las piezas de bronce, de excelentes ajustes, de fácil ejecución, y de muchísima duración; no admiten basuras que les impida cerrarse, y sirven bien, aún cuando el tubo esté bastante inclinado; cada bomba tiene tres válvulas, dos en los extremos del tubo de aspiración y una en la parte inferior del de elevación. El émbolo es también de una construcción particular.[...] La máquina motora se compone de un árbol vertical, que da vueltas por medio de una espiga, al que se atan los caballos: en su parte superior tiene una cigüeña, cuyo cuello gira entre tres roldanas [garruchas] horizontales, y su muñón, entrando al agujero de un tirante horizontal, lo aparta del

tiro, y lo empuja hacia él alternativamente: éste tirante comunica su movimiento por medio de unas cadenas a un balancín, cuyo eje descansa por cada lado en dos roldanas verticales, el cual, también por medio de cadenas, tiene pendientes dos tirantes generales, que subiendo uno, cuando el otro baja, hacen jugar dos órdenes de bombas situadas en el tiro, que sacan de la mina una corriente de agua continua.¹¹⁸

Fausto de Elhuyar, convencido de la utilidad de su máquina, la presentó al virrey para que enviara a verificarla y comprobara su eficacia. De su orden con arreglo a la ordenanza pasó a la calificación de los catedráticos de su Real Seminario, quienes basados en los experimentos que se les presentaron y reflexionando sobre el particular, aprobaron su realización.¹¹⁹

Deseoso Elhuyar de asegurar su resolución en materia tan importante consultó al Señor Joaquín Zarauz, Capitán de Navío de la Real Armada, el cual reprobó el proyecto.

Ante esta discrepancia de pareceres se pidió el dictamen de los catedráticos, quienes “decretaron que se procediera a verificar en grande la máquina del señor Director de Minería esperando que redunde en gran beneficio del importante cuerpo de minería”.¹²⁰

El profesor de física Juan José de Oteiza en su discurso hizo una vigorosa defensa de las bombas hidráulicas diseñadas por Elhuyar para sustituir a los malacates utilizados en

¹¹⁸ *Ibid*, fs. 205v-206

¹¹⁹ *Ibid*, f. 206v

¹²⁰ *Idem*.

el desagüe de las minas. Oteiza desbarató, uno por uno, los argumentos del impugnador Zarauz quien se aferraba a la descalificación de dichas bombas sin que en realidad entendieran cual era su diseño. Oteiza protegió este proyecto de bombas de succión para que se procediera a la verificación en grande de las máquinas diseñadas por Fausto de Elhuyar. “Para entonces ya se había iniciado su implementación en las minas de Real del Monte, con la utilidad cierta de la física y bien fundadas esperanzas de que resulte un gran beneficio a la minería.”¹²¹

Los disparatados argumentos de Joaquín de Zarauz sirvieron al menos para dar cuenta de las invenciones de del Río y de Elhuyar y de sus esfuerzos por introducir las bombas hidráulicas en las minas y sus innovaciones sustentadas con la tecnología más avanzada de la época no sólo en América, sino también en Europa.

III.1. Dos teorías sobre construcción de bombas hidráulicas: Belidor y Langsdorf

Quizá el mérito más grande de Fausto de Elhuyar sea el haber descubierto, con base en sus experimentos, que la teoría en uso para construir bombas hidráulicas en Europa, que se apoyaba en los principios de Belidor¹²², era incorrecta. En cambio durante el proceso de búsqueda y de adaptación de las máquinas hidráulicas a las necesidades de desagüe de las minas novohispanas, probó como correcta una nueva teoría más reciente, expuesta por Langsdorf. Elhuyar poseía la obra de Langsdorf titulada *Ensayo de una nueva teoría de los*

¹²¹ *Ibid*, f., 207v

¹²² Los textos de Belidor *Arquitectura Hidráulica* en idioma francés, fueron estudiados en el Colegio de Minería, y se conservan en el Acervo Histórico del Palacio de Minería. Fausto de Elhuyar en su *Contestación a la vindicación*, citada en este trabajo, señala pasajes de *Arquitectura Hidráulica*, tomo 1 y 2 que bajo su análisis son herróneos.

principios de la Hidrodinámica y Pyrometría en la cual se basó para hacer sus experimentos que lo llevó a diseñar las máquinas hidráulicas movidas por bestias. Andrés del Río había hecho una traducción del alemán al español de ésta obra cuando estuvo en Freiberg, antes de llegar a Nueva España.¹²³

Los libros de Belidor¹²⁴ *Arquitectura Hidráulica* (cuatro tomos) fueron usados en los cursos del Colegio de Minería, asimismo *Ensayo de una nueva teoría de los principios de hidrodinámica y pyrometría* de Langsdorf. Fausto de Elhuyar poseía libros sobre ambos autores. Andrés del Río menciona que a su llegada a la Nueva España intercambió con Elhuyar la traducción que él mismo hizo de la obra de Langsdorf y un libro de éste que le regaló Elhuyar en idioma alemán.¹²⁵

En relación a las modificaciones hechas a la bomba, diseñadas por Elhuyar y afines a los parámetros calculados por Langsdorff, el profesor de física Juan José de Oteiza explica que, la teoría hidráulica de las bombas, establecida por Belidor y otros matemáticos,

¹²³ El propio Elhuyar se refiere a éste hecho: “Habiendo aprendido el idioma alemán en mis viajes de Europa no necesitaba para conocer y entender las formulas de Langsdorf la traducción que Andrés del Río trajo hechas a este reino” Elhuyar Fausto, *Contestación a la vindicación*, México, Oficina de Don Mariano de Zúñiga y Ontiveros, calle del Espíritu Santo, año de 1807. p. 25.

¹²⁴ **Bernard Forest Belidor**, 1693-1761: ingeniero civil y militar autor de un trabajo clásico sobre hidráulica. Escribió numerosos libros sobre matemáticas, artillería e hidráulica. Su *Architecture Hydraulique* en 4 volúmenes, 1737-1753, fue el primer libro de su clase que aplicó el calculo integral a problemas prácticos; su influencia en los siguientes 100 años alcanzó un nivel internacional. (The Columbia Encyclopedia, 6th ed. Columbia University Press, 2007) Fausto de Elhuyar señala que algunos parámetros expuestos en *Arquitectura Hidráulica* de Belidor no están correctamente calculados para la construcción de bombas impelentes. (Elhuyar Fausto, *Contestación a la vindicación*, México, Oficina de Don Mariano de Zúñiga y Ontiveros, calle del Espíritu Santo, 1807) Eduardo Flores Clair documenta que, los autores que destacaron en el acervo bibliográfico del Colegio de Minería se encontraban *Arquitectura Hidráulica* de Belidor. (Flores Clair Eduardo, *Minería, educación y sociedad, el Colegio de Minería, 1774-1821*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2000, p. 239: p. 90) *Architecture hydraulique*. 4 Bde. (Paris 1737 -1753) es parte del acervo actual del AHPM.

¹²⁵ El propio Andrés del Río se refiere a este hecho “acabé dicha traducción estando en Sajonia, que creo fue en abril de 1790. [...] el señor Director, hace doce años, cuando llegué a este reino, tenía dos ejemplares de Langsdorf en alemán, de los que me regaló uno, lo que yo le di a conocer entonces fue mi traducción, y el crédito que se había granjeado la obra en Alemania”. Díaz y de Ovando Clementina, *Los Veneros de la ciencia mexicana*, T. 1, México, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1998, p. 139

estaba erigida sobre fundamentos ruinosos.¹²⁶ Esta teoría fue seguida con mucha devoción por casi todos los que construyeron bombas hidráulicas en el siglo XVIII en Europa. “Fausto de Elhuyar y el Colegio de Minería demostraron que siguiendo los postulados de esta teoría tan popular, se deducen consecuencias que bien reflexionadas se oponen a sus mismos principios.”¹²⁷ De Oteiza agrega que, el sabio Langsdorf halló por otro rumbo la misma fórmula de Euler, y la publicó en 1787, demostrando la falsedad de varios principios en que se funda la teoría común de las bombas de Belidor.¹²⁸

El Director General del Colegio de Minería, persuadido de las razones de Langsdorf¹²⁹ y aprovechando una coyuntura favorable, hizo con asistencia de los catedráticos del Real Seminario muchos experimentos. Los experimentos se llevaron a cabo con todas las precauciones posibles, repitiéndolos y variándolos por más de un año. Los resultados fueron muy contrarios a la teoría común y muy conformes a la propuesta de Langsdorf. Siguiendo la propuesta de Langsdorf y mejorándola en varios puntos con las luces de la experiencia, Fausto de Elhuyar ideó unas bombas mejores que cuantas se conocen, y una máquina muy sencilla para moverlas con bestias, y sustituirlas por los

¹²⁶ AHPM, Documentos de Elhuyar 1778-1822, ML-357-B, f. 205

¹²⁷ *Idem.*

¹²⁸ *Idem.*

¹²⁹ **Karl Christian von Langsdorf** (1757-1834), matemático alemán. Trabajó como profesor en la Universidad de Erlangen, Bavaria, en donde se desempeñó también como asesor académico de Gerog Simon Ohm. En 1809 dejó Erlangen para tomar un puesto en la universidad de Heidelberg (<http://de.wikipedia.org>) Según el árbol genealógico de los matemáticos preparado por la Universidad de Cambridge, Inglaterra, en 1955, colocan a Langsdorf en seguida de Leonhard Euler y Joseph Lagrange y en el mismo nivel de Jean Baptiste Fourier (www.latp.univ-mrs.fr) Entre las obras que escribió se encuentra *Ensayo de una nueva teoría de los principios de hidrodinámica y pyrometría*, la cual tradujo Andrés del Río.(Elhuyar Fausto, *Contestación a la vindicación*, México, Oficina de Don Mariano de Zúñiga y Ontiveros, calle del Espíritu Santo, 1807 pp. 15, 25, 26.)

malacates que se usan en el desagüe de las minas, con bien fundadas esperanzas de que resultaran muchas ventajas.¹³⁰

En su *Contestación a la vindicación*¹³¹ Fausto de Elhuyar hace una exposición acerca de las nuevas bombas y máquina movidas por bestias propuestas por él al Real Tribunal General de Minería. Además explica las limitaciones de la teoría de las bombas hidráulicas formuladas por Belidor y confirma la veracidad de la teoría de las bombas hidráulicas formuladas por Karl Von Langsdorf.

Al inicio de su *Contestación*, Elhuyar identifica que el desacuerdo mayor de Zarauz con las modificaciones proyectadas en las nuevas bombas es el angostamiento de los tubos de elevación. El motivo de la discrepancia lo atribuye a que la innovadora propuesta está en contradicción con las teorías de Belidor y demás autores que han seguido sus doctrinas en este punto. En esa época las teorías de Belidor eran las más aceptadas por la comunidad versada en minería, así que es de entenderse la reacción de Zarauz. A esto Elhuyar responde que en las ciencias exactas cada día se hacen descubrimientos que destruyen ú obligan a reformar las ideas adoptadas por grandes hombres. Y asevera que los nuevos descubrimientos no desmerecen el justo concepto que grandes pensadores granjearon en su tiempo.¹³²

¹³⁰ *Idem.*

¹³¹ Elhuyar Fausto, *Contestación a la vindicación*, México, Oficina de Don Mariano de Zúñiga y Ontiveros, calle del Espíritu Santo, año de 1807. 41 p.

¹³² *Ibid.* p. 12

Elhuyar prosigue a dar idea de los motivos que tuvo para angostar los tubos de elevación en las nuevas bombas. La opinión general de los hidráulicos era que los tubos de elevación debían tener la misma amplitud que los cuerpos de bomba. Los experimentos hechos por Elhuyar contradijeron la teoría de Belidor, la cual expresaba que cualquier angostamiento del tubo de elevación aumentaría la resistencia de la bomba, el aumento guardaría la razón inversa de los bicuadrados de los diámetros, cuando se compararan tubos diferentes aplicados a cuerpos de bomba iguales. “La experiencia nos enseña que pueden angostarse dichos tubos y a veces notablemente sin que se haga sensible a la fuerza motriz el aumento de la resistencia”.¹³³

Elhuyar hace un reconocimiento a la contribución matemática que Karl Von Langsdorf desarrolló en relación a las bombas hidráulicas en su obra alemana titulada *Ensayo de una nueva teoría de los principios de la Hidrodinámica y Pirometría*. En esta obra Langsdorf establece y demuestra nuevos principios, y la aplicación de fórmulas para el funcionamiento de bombas impelentes. Supuso una bomba doble o dos bombas que alternaban los movimientos de ascenso y descenso de sus émbolos, producidos por una fuente motriz constante, y dedujo para el estado de movimiento una fórmula fundamental.¹³⁴

¹³³ *Ibid*, p. 14

¹³⁴

$$P = \left(1 + \frac{L.U.b}{\frac{1}{4}c^2.u.g}\right)U$$

Elhuyar Fausto, *Contestación a la vindicación*, México, Oficina de Don Mariano de Zúñiga y Ontiveros, calle del Espíritu Santo, año de 1807. p. 15

Sin entrar en el pormenor del origen de la formula, Elhuyar hace mención de que ésta fue obtenida con base a principios idénticos que por métodos distintos dedujo el célebre matemático Euler, cuya autoridad bastaba para inspirar confianza sobre la seguridad de los fundamentos.¹³⁵ La solidez de la teoría de Langsdorf dio confianza a Elhuyar, quien resumió:

[...] Convencido de la solidez de los principios en que se fundan estos resultados, a pesar de su oposición, o a lo menos notable diferencia, respecto de la regla común, no dudé en adaptarlos y hacer desde luego la aplicación a la reforma de las bombas que hasta hoy se han usado en Europa para el desagüe de las minas.¹³⁶

Elhuyar señalaba que con el simple estudio de la teoría de Langsdorf le fue suficiente para hacerla efectiva sin más comprobación. Sin embargo menciona que se le presentó la ocasión de poder reconocer prácticamente la certeza y seguridad del buen efecto de la nueva teoría. Después, que, con unas bombas que se construyeron para el uso del Real Seminario de Minería aprovechó, con la anuencia del Tribunal, examinar algunos puntos que ofrecían algunas dudas.

Elhuyar experimentó y comprobó la nueva teoría durante un año. Le parecía que, en vista de una demostración tan clara y decisiva, no podía haber mayor conformidad entre los resultados de los cálculos que enseñaba la teoría y los efectos que manifestaba la experiencia, “ni la menor duda en que pueden angostarse mas ó menos, según las

¹³⁵ *Idem.*

¹³⁶ *Ibid.* P. 18

circunstancias, los tubos de elevación de las bombas impelentes, sin que la potencia experimente gravamen alguno sensible, y mucho menos el exorbitante aumento en la resistencia que generalmente se ha temido hasta hoy.”¹³⁷

En una parte de su *Contestación*, Elhuyar, al reflexionar sobre el angostamiento de los tubos, hace referencia sobre las bombas que generalmente se habían utilizado en los desagües de las minas de Europa. Elhuyar explica que en aquellos países las había de tres especies que solo se distinguían por su tamaño, clasificadas en: bombas bajas, bombas medianas y bombas altas. Las primeras tenían limitado su efecto a unas diez varas, las segundas a quince ó veinte, y las terceras a treinta ó treinta y dos. Su construcción peculiar no permitía alargarlas más sin gravísimos inconvenientes. Los tubos que las componían eran muy anchos y generalmente de madera, a excepción del tramo en que subía y bajaba el émbolo, que solía ser de metal. Los émbolos exigían unas varillas de la misma longitud de los tubos de elevación, metidas dentro de los tubos.¹³⁸

Las bombas descritas en el párrafo anterior no eran funcionales en la mayoría de las minas novohispanas. Estas minas a finales del siglo XVIII tenían la característica de ser profundas, por lo que requerían una bomba que pudiera extraer el agua a cien, doscientas y hasta trescientas varas de profundidad. En minas de cierta profundidad era preciso repetir las bombas, según su tamaño, cuantas veces lo requiriera ésta: de modo que la más baja, elevando el agua en la labor más profunda, subía y descargaba el agua en un cajón colocado en su extremo superior, del cual la siguiente bomba tomaba el agua para hacer lo propio y

¹³⁷ *Ibid*, p. 21

¹³⁸ *Ibid*, p. 26

pasarla a la tercera, y así sucesivamente hasta la bomba más alta, que por la boca del tiro ó algún socavón, la derramara al exterior. “Cuanto más se repitan estas bombas en un tiro, se deja conocer, que se complica su tren, se aumenta su peso, se multiplican los rozamientos, y se acrecienta por precisión [sic] la fuerza necesaria para moverlas, dando al mismo tiempo lugar a frecuentes composturas, paradas de la máquina, y a que nunca saquen el agua que debieran; contribuyendo también no poco a esto mismo los defectos de los émbolos y válvulas que en ellas se emplean.”¹³⁹

Al llegar a la Nueva España, Elhuyar hizo un cotejo de las bombas de desagüe conocidas en Europa con los malacates utilizado en el desagüe en la Nueva España. Este cotejo lo realizó con la intención de sustituir a estos últimos con las primeras. Pero el cotejo no le arrojó resultados que le prometieran grandes ventajas de semejante idea. Y habiendo repetido el experimento en diferentes ocasiones, sólo confirmó que mientras no variaran las circunstancias, se simplificara y perfeccionara la construcción de las bombas, como también la máquina motora, no sería muy adaptable en un país en que la escasez de agua en la superficie permitía en pocos casos la aplicación de ruedas hidráulicas y otros dispositivos de esta clase. Por lo que cualquier diseño que se quisiera construir obligadamente debería valerse de las bestias, agente muy costoso, pero el más abundante en estas regiones.

Las conclusiones de Elhuyar expuestas en el párrafo anterior las manifestó ante el Real Tribunal General de Minería a su llegada a la Nueva España. Explicó que limitándose a implementar lo que había visto establecido en las minas de Alemania y Hungría se hubiera evitado quebrantos de cabeza. No se hubiera propuesto buscar angostamientos de

¹³⁹ *Ibid*, p. 27

tubos, válvulas y émbolos nuevos, pues estos eran experimentos complicados causantes de incomodidades. Pero su amor propio, como lo reconoce, no lo dejó aventurarse a un trance tan arriesgado en su concepto, sin procurar primero allanar los embarazos que se presentaban para hacer asequible la empresa. “Por esto me empeñé en un examen muy detenido y meditado de todas las partes de que constan las bombas comunes, y procuré corregir cuanto me fue posible, los defectos que en ellas fui notando, no hallando otro modo de poder realizar mis designios”.¹⁴⁰

A continuación Fausto de Elhuyar expone en qué consistieron sus experimentos:

[...] Si la multiplicidad de bombas de la construcción común tiene los inconvenientes que se han indicado, el disminuir su número o reducir las si se puede a una sola, las aminorará o evitará cuanto sea posible. En la que he dispuesto, hallándose el cuerpo de bomba a un lado de la línea de los tubos de aspiración y elevación, y la varilla de su émbolo reducida a poco más que el levante preciso de este, no hay embarazo para dar al tubo de elevación una sola la longitud de 300 ó 500 varas, según lo exigiere la mina, proporcionando tubos de resistencia correspondientes, lo que podrá conseguirse haciéndolos de metal con grueso competente. Con los de madera será muy difícil ó imposible; pero como quiera que por su moderado costo, la falibilidad e incierta duración de las minas, y la escasez de fondos con que, por lo regular, se hallan sus dueños, se hacen en lo general preferibles a los primeros, no será poca ventaja la de poder hacer con una bomba de

¹⁴⁰ *Ibid.*, p. 28

las nuevas lo que con tres ó cuatro de las comunes más altas, ó diez o doce de las bajas. Esto se consigue con el angostamiento de los tubos de elevación reducidos.¹⁴¹

Elhuyar explicó que no en todas las combinaciones resultaría una diferencia tan grande entre los diámetros del cilindro y el tubo de elevación. Por ello no era posible dar como regla general el angostamiento del tubo. En el caso de que la prolongación del tubo no fuera posible, Elhuyar señaló que, se podía apelar a otros arbitrios para completarla. Puso como ejemplo un tubo de elevación a cien varas, como no había en el mecanismo cosa que la embarrase propuso reforzar los mismos tubos, dándoles más grueso; guarnecerlos por dentro con tubos formados de hojas delgadas de plomo enrolladas; o el poner en un tramo tubos de metal por abajo en lugar de los de madera, sobre cuyo particular se debía consultar en cada caso las circunstancias.¹⁴²

Elhuyar finalizó la exposición de su proyecto enumerando los avances que en él se hacían:

[...] proyecto que formé en establecer bombas de cien varas ó mas de longitud; y reuniendo en su mecanismo varias reformas conducentes a su mayor sencillez y seguridad, disminución de peso y rozamiento, ahorro de tiempo, trabajo y gastos en composturas, mayor y mas constante producto en su efecto, me he prometido ventajas de consideración, respecto de las comunes, y una disminución en la fuerza motriz, que las proporcione también respecto de los malacates; no siendo de

¹⁴¹ *Ibid.*, p. 29

¹⁴² *Idem.*

despreciar la de poderse aplicar del mismo modo en los tiros de recueste que en los verticales, sin los graves inconvenientes que ofrecen en los primeros estas últimas máquinas. Juzguen, pues, ahora los inteligentes, si este pensamiento es tan absurdo y despreciable como le ha parecido al Señor Zarauz.¹⁴³

Por motivos que exceden el alcance de este trabajo incluyo la explicación fisicomatemática que ofrece Fausto de Elhúyar en el anexo N° 2.

III.2. Instalación y funcionamiento de las máquinas hidráulicas movidas por bestias en Real del Monte.

Es escasa la información que se conoce con respecto a las minas donde se instalaron las máquinas diseñadas por Fausto de Elhuyar. Considero que este sería un tema que se puede trabajar en una investigación futura. Por el momento sólo haré mención de algunos datos que se conocen al respecto.

Manuel Martos Castillo¹⁴⁴ sostiene que Fausto de Elhuyar fue propietario de minas. Ejerció esta función en la mina de *Jesús* en el distrito minero de Real del Monte. En esta mina decidió instalar un sistema de bombas de su invención de motor animado con bestias.

En 1807 y 1808 Fausto de Elhuyar pasó algunos meses en Real del Monte trabajando y experimentando nuevos métodos de desagüe.¹⁴⁵

¹⁴³ *Ibid*, p. 30

¹⁴⁴ Castillo Martos Manuel, *Minería y metalurgia, intercambio tecnológico e industrial entre América y Europa durante el periodo colonial*, Sevilla, Muños Moya Editores, 1994, p. 501

En la obra de Santiago Ramírez, *Datos para la historia de la Escuela de Minería*, el autor dice que el 14 de agosto de 1805, Fausto de Elhuyar, director del Tribunal Minería informa que han terminado sus estudios los alumnos Rafael Dávalos y Juan José Rodríguez. Elhuyar propuso que para hacer la práctica respectiva Rafael Dávalos fuera a la mina de Morán, en la que se estaba estableciendo la máquina de columna de agua. En tanto, destinó a Juan José Rodríguez a la mina de *Jesús* en Real del Monte, de la propiedad del director, para que éste estableciera un sistema de bombas de su invención, de motor animado por bestias.¹⁴⁶

Otros datos recogidos por Santiago Ramírez, en sus efemérides que se conservan en el Archivo del Palacio de Minería, señalan que Elhuyar, el 7 de febrero de 1807 y el 9 de abril del mismo año, fue a Real del Monte para ocuparse del desagüe de las minas y vuelve el 4 de febrero de 1808 a Real del Monte y Morán para continuar con la construcción de sus bombas. El 24 de abril de 1808, vuelve a salir para la mina de Morán, con el mismo objeto y regresa el 4 de junio.¹⁴⁷

El 23 de enero de 1822, el Tribunal de Minería pidió informes a don Vicente del Moral, residente de Real del Monte, sobre el uso que pudiera hacerse de las bombas diseñadas por el señor Elhuyar.¹⁴⁸

¹⁴⁵ Howe, Walter, ... Op. Cit., p. 356

¹⁴⁶ Ramírez Santiago, *Datos para la historia del Colegio de Minería*, México, Sociedad de exalumnos de la Facultad de Ingeniería, UNAM, 1982, p. 199

¹⁴⁷ *Ibid*, pp. 204-206

¹⁴⁸ *Ibid*, p. 251

Sánchez Flores afirma que algunas máquinas, de tamaño más bien pequeño, fueron instaladas en Pachuca y se mantuvieron en experimentación con resultados aceptables.¹⁴⁹

¹⁴⁹ Sánchez Flores, Ramón, *Historia de la tecnología y la invención en México, introducción a su estudio y documentos para los anales de la técnica*, México, Fomento Cultural Banamex, 1980, 647 p, pp. 205-206

IV. LAS PRIMERAS MÁQUINAS DE VAPOR EN MÉXICO

La primera referencia que se tiene sobre la introducción de la máquina de vapor en México es un documento inédito en el Archivo General de la Nación. En este documento se dice que en 1819 Real de Catorce requirió al Tribunal de Minería su autorización para llegar a un acuerdo particular con Tomás Murphy para la compra de una máquina de vapor inglesa.¹⁵⁰

John Taylor, quien fuera posteriormente director de la compañía inglesa en Bolaños y Real del Monte, afirma que en 1819 una respetable casa de Londres envió una máquina de vapor para la mina La Concepción en el Real de Catorce. La máquina de vapor iba acompañada de un minero de Cornwall de nombre Robert Philips. Esta es la primera máquina de vapor que se haya enviado a la América española. Posteriormente continúa Taylor “recibí noticias de Robert Philips diciéndome que se encontraba en buena salud de buen espíritu, confirmándome que había tenido éxito en la instalación y funcionamiento de la máquina de vapor.”¹⁵¹

Esto tuvo lugar en 1819, y no sería descabellado pensar que la máquina instalada en La Concepción hubiera llegado a México solicitada por Tomas Murphy, pues las fechas coinciden aun cuando no se tenga un dato preciso. Según Burkart la primera máquina de vapor inglesa fue introducida en las minas de Catorce en 1821.

¹⁵⁰ AGN, Minería, Vol. 28, Exp. 7, f. 152

¹⁵¹ Taylor, John ... Op. Cit. p. IX, Introducción.

Otros empresarios también interesados en la introducción de la máquina de vapor expusieron al Tribunal de Minería sus propuestas. Una de ellas fue la de Santiago Smith Wilcox y Robert McQueen, quienes propusieron al Tribunal formar una compañía para introducir la bomba de vapor en la mina *San José*, conocida también como *del Cura*, ubicada en el mineral de Temascaltepec. Para la constitución de la empresa se contaba con la conformidad de su dueño, José María Oyazábal, bajo los términos siguientes: “Que el Tribunal, bajo la responsabilidad del Sr. Smith, administrará todos los gastos que sean necesarios para la pronta y plena planificación de las referidas bombas, además que pague las rayas semanales y cuide de los obreros. [...] Que Santiago Smith proveerá los artesanos carpinteros que a juicio del ingeniero se califiquen necesarios, cuyos salarios se les satisfagan por la misma persona encargada por el Tribunal del pago de rayas.”¹⁵²

A Santiago Smith Wilcox no le fue otorgado el monopolio comercial. Sin embargo se le concedió la franquicia temporal, conforme a la ley para que pudiera introducir la máquina de vapor.

También en el año de 1819, una casa de Londres menciona haber tenido correspondencia con Fausto de Elhuyar, Presidente del Tribunal de Minería, lo cual indica que ya se habían hecho averiguaciones acerca de las máquinas de vapor desde México, preparando su introducción.¹⁵³

¹⁵² [Acuerdo del Real Tribunal de la introducción de la máquina de vapor (estadounidense) para las minas y de administración y gastos para la construcción de esta máquina bajo la supervisión de ingenieros norteamericanos, México, 1825] AGN, *Minería*, Vol. 189, Exp. 36

¹⁵³ Taylor John, ... Op. Cit., p. VII, introducción.

En Real del Monte la primera mina que empleó la máquina de vapor fue la de Morán en 1826. En la misma mina de Morán donde se instaló la primera máquina de columna de agua construida en América en 1801, también fue donde la compañía inglesa en 1826 instaló la primera máquina de vapor en Real del Monte y la tercera en todo el país.

Philip Taylor hace una descripción de la primera máquina de vapor erigida en la mina Morán en Real del Monte que fue puesta en acción el 12 de agosto de 1826¹⁵⁴. La describe como una máquina de bombeo horizontal que difiere en su construcción de cualquiera utilizada para drenar minas en el mundo hasta esa fecha.

[...] Las calderas sujetas a la máquina están calculadas para surtir a la máquina con una cantidad de calor igual a 50 libras por pulgada cuadrada con perfecta seguridad. La velocidad de la máquina es regulada por una catarata y la válvula es instalada para trabajar expansivamente. El arreglo de esta máquina es especialmente novedoso, combina el efecto de los cilindros y el cargamento de las varillas del pistón a través de ambas terminales de los cilindros. La posición horizontal sostiene con facilidad la potencia concentrada derivada de 2, 4 o 6 cilindros en un punto. En este tipo de máquina la potencia se puede dividir y ser aplicada en cada terminal o puede ser aplicada completamente en una sola terminal, añadiendo en el extremo opuesto un contrapeso con un peso igual a la mitad de la potencia de la máquina. Una máquina de vapor común con un contrapeso requiere que el cuarto de máquina debe ser construido cerca de la boca del tiro donde se ha colocado la bomba, lo que frecuentemente es muy inconveniente. La máquina instalada en Morán puede ser

¹⁵⁴ *The Philosophical Magazine*, Vol. 1, N° 4, April 1827

colocada a una distancia conveniente de la boca del tiro donde se instaló la bomba.¹⁵⁵

Esta máquina junto a otras tres construidas en Cornwall con la supervisión del señor Woolf, y un completo equipo de ingenieros, fueron embarcadas el 30 de marzo de 1825 y arribaron a la costa de Veracruz el 27 de mayo siguiente, llegaron al lugar donde se ubica la mina de Morán el 1 de mayo de 1826 y comenzó a extraer agua el 12 de agosto de 1826, teniendo el principal crédito para su instalación el señor Blackaller bajo las órdenes del Capitan Vetch. La máquina trabajó regularmente entre el 12 de agosto y el 7 de septiembre, 6 horas por día, para el 24 de septiembre el nivel del agua bajo 45 varas, a la mitad de su profundidad. El 31 de octubre el Capitan Vetch escribió a sus jefes en Londres “estoy feliz de comunicarles que la mina de Morán puede considerarse drenada, el agua ha sido sacada del fondo de la mina, pero hace falta drenar otros tiros para poder sacar sus ricos minerales”. El combustible usado para hacer trabajar la máquina, consistió en madera de pino la cual era abundante en el área cuyo costo no excedía al del carbón empleado en Cornwall.¹⁵⁶

Philip Taylor no informa, quizás porque lo ignoraba, es el hecho de que previamente en esta mina había sido instalada la máquina de columna de agua. Al instalar la máquina de columna de agua se invirtió en obras importantes de acondicionamiento como el enderezamiento del tiro, lo cual sin proponérselo ayudó e hizo posible el funcionamiento de la máquina de vapor en esta mina. Es decir, no fue casualidad que se haya escogido la mina

¹⁵⁵ *Idem.*

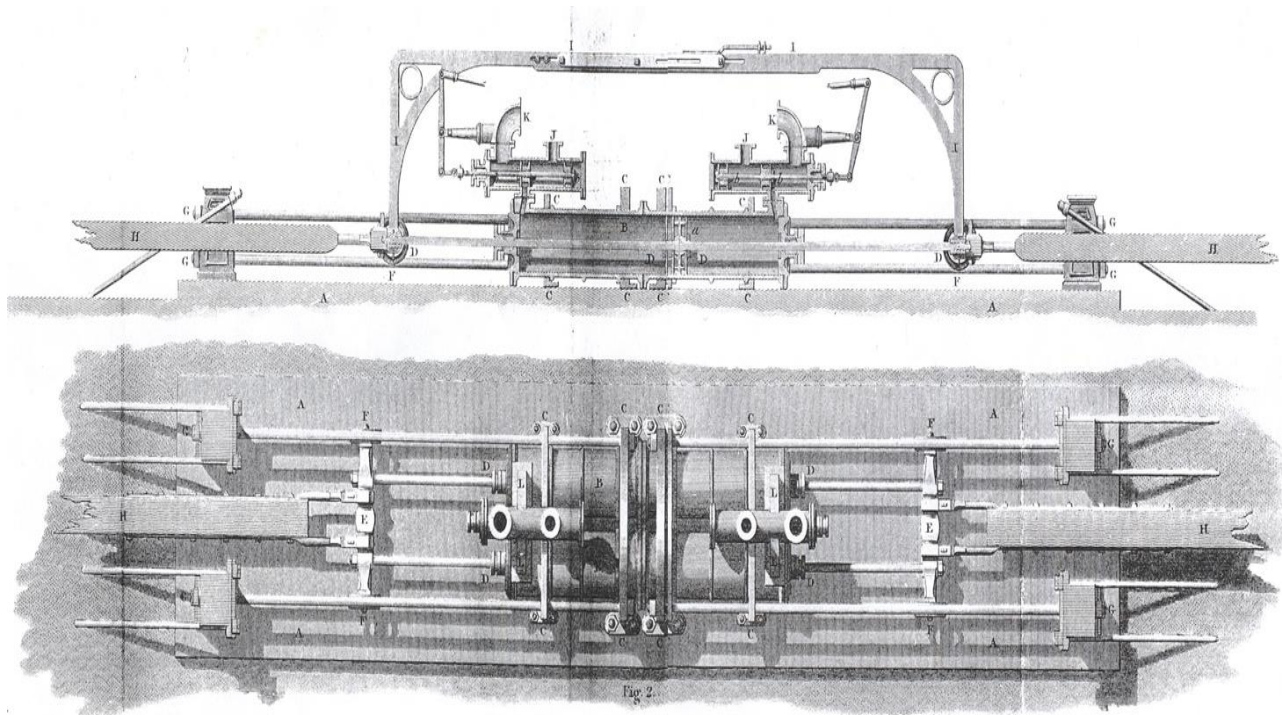
¹⁵⁶ *Idem.*

de Morán para instalar la primera máquina de vapor, simplemente se decidió porque ésta estaba acondicionada para su introducción y porque se conocía que en su interior se encontraban minerales de plata de buena ley.

Philip Taylor hace una descripción específica de la máquina de vapor que se instaló en Morán, e incluye un plano de las partes que la integran, del cual se hace una reproducción en este trabajo en la gráfica N° 6, y su descripción es la siguiente:

En la figura 1 y 2 se muestran las principales partes de la máquina de vapor introducida en la mina de Morán, la cual fue construida por Messrs-Taylor and Martineau. Su descripción es la siguiente: AA: La base sobre la cual es ensamblada la máquina, hecha de tabiques y partes de madera donde se sujetan los tornillos que sujetan a la máquina. BB: Dos cilindros, cada uno de 10 pies de largo y de 18 pulgadas de diámetro interior, ensamblados en posición horizontal y exactamente paralelos uno con otro mediante cuatro soportes de fierro. CCCC: Que sujetan a los dos cilindros con la base. Cada uno de estos cilindros posee un pistón metálico, uno de ellos es mostrado en (a) fig. 1. ambos pistones serán observados a la mitad de su camino o trayectoria. DD: Los cuales trabajan en cajas de relleno al final de cada cilindro. EE: Dos fuertes vías transversales, dentro de las cuales las cuatro extremidades de las varillas del pistón están firmemente ensambladas. FFFF: Cuatro ruedas de fricción sujetas al final de las vías trasversales. GGGG: Sus otras terminales sujetadas a los soportes. CC: Confinamiento de los cilindros. HH: Las varillas conectoras sujetas a la vía trasversal. EE: En donde la potencia sería aplicada a bombas colocadas tanto en una o en ambas terminales de la máquina. II: Varilla impulsora ensamblada a la vía trasversal. EE: Movimiento recíproco con el cual la válvula abre y sierra. JJ: Pasaje de la

válvula para admitir el vapor de la caldera. KK: Pasaje mediante el cual el vapor escapa después de haber dado movimiento al pistón. JJ: el vapor es admitido por la acción de la válvula. LLLL: (fig. 2) mientras de igual manera el vapor de las terminales opuestas de ambos cilindros pasa a través del pasaje. KK: El pistón de 18 pulgadas de diámetro y efectúa una carrera de de 9 pies.



*W. Philip Taylor's Horizontal Steam Engine.
Erected on the Mine of Morán in Mexico.*

GRÁFICA N° 6

Plano de las partes que integran la primera máquina de vapor que se instaló en la mina de Morán, publicado en *The Philosophical Magazine*, Vol. 1, N° 4, April, 1827.

Conclusiones:

La historiografía, particularmente la dedicada al estudio de la minería mexicana en el periodo colonial, hace escasa referencia a la existencia de la máquina de columna de agua diseñada por Andrés del Río y de las máquinas hidráulicas movidas por bestias diseñadas por el director del Colegio de Minería Fausto de Elhuyar. La información emitida por distintos autores al respecto, además de ser escueta, por lo general proviene de una misma fuente, repiten la información citada por otros autores como Alexander Humboldt. Al parecer no existe ningún trabajo escrito previo a éste, dedicado a examinar el origen, construcción y operación de las máquinas hidráulicas movidas por agua y por bestias, por lo que la originalidad es una de las características de este trabajo, basado principalmente en fuentes primarias.

Distintos estudios históricos han dado cuenta del desarrollo científico y tecnológico alcanzado en un tiempo relativamente corto por el Colegio de Minería. Algunos autores, mencionados en este trabajo, señalan que el avance logrado por esta institución minera representó un avance en el desarrollo científico en todo el mundo occidental. Las máquinas hidráulicas documentadas en este trabajo, evidencian ese desarrollo científico-tecnológico alcanzado por el Colegio de Minería. El presente estudio detalla un proceso de invención que se materializó con el conocimiento de la física y las matemáticas más avanzadas de la época. En este sentido, mi tesis contribuye a documentar un acontecimiento importante en la historia de la ciencia y la tecnología en México, subestimado por mucho tiempo.

Entre la tecnología tradicional de malacates y socavones al uso de la máquina de vapor para el desagüe de minas, transcurre un periodo breve, importante y revelador de un intento serio de desarrollo tecnológico autónomo con la construcción de las máquinas hidráulicas estudiadas en este trabajo y la posibilidad de haber podido construir las máquinas de vapor en México.

Entre los años de 1804 y 1809, Fausto de Elhuyar y Andrés del Río se negaron a aceptar la transferencia tecnológica de máquinas de vapor para el desagüe de minas propuesta por Carlos IV, por que no tomaba en cuenta las particularidades de la minería novohispana. Los argumentos de Elhuyar y del Río estuvieron sólidamente fundamentados en el conocimiento científico y tecnológico que tenían de la minería europea y en el conocimiento profundo que alcanzaron en un corto tiempo de las necesidades tecnológicas de la minería novohispana. La propuesta de Elhuyar y del Río tenía la característica de impulsar un desarrollo tecnológico minero autónomo basado en las circunstancias geográficas, naturales, económicas y sociales en que tenía lugar la industria minera novohispana de su época.

Elhuyar y del Río, en todo caso, no se opusieron al empleo de la tecnología de vapor, sólo señalaron con gran precisión las dificultades y problemas que había que resolver antes de adquirir la máquina de vapor. Se opusieron a la transferencia tecnológica que no tomaba en cuenta las particularidades de la minería novohispana y que además inhibía la iniciativa propia y la posibilidad de un desarrollo tecnológico autónomo.

Elhuyar y del Río hicieron una propuesta de desarrollo tecnológico sin precedentes. Propusieron construir la máquina de vapor en México, adaptándola a las necesidades concretas de cada mina, e indicaron cómo era posible lograrlo.

Si bien es cierto que Fausto de Elhuyar y Andrés del Río se formaron en la escuela mineralogista alemana y estuvieron influenciados fuertemente por ella, también es cierto que nunca intentaron introducir esa experiencia mecánicamente. Por el contrario, en un corto tiempo se empaparon primero de la problemática novohispana para adecuar los cambios necesarios, en esta racionalización del conocimiento radica su mérito y logros alcanzados.

Las bombas alemanas utilizadas en Europa, basaban su diseño y construcción en los principios hidráulicos y matemáticos establecidos por Bernard Forest Belidor, los cuales exigían que, el diámetro del tubo de elevación del agua a la superficie, debía ser igual al diámetro del cilindro del émbolo de la bomba o cuerpo de bomba.

Aplicando automáticamente los principios de Belidor para desaguar una mina profunda, se hubiera necesitado un tren de bombas o una sola bomba con un tubo de desagüe de diámetro igual al diámetro del cilindro del émbolo, además de que, el tubo de elevación debería ser de gran longitud para minas de 500 metros de profundidad. Una bomba así no era funcional ni costeable para su época en la Nueva España.

Por otro lado, fue un gran mérito de Fausto de Elhuyar y del Colegio de Minería haber comprobado una nueva teoría sobre la construcción de las bombas hidráulicas que,

para entonces, no se tenía noticia de haberse descubierto antes, ni se conocía que existiera ese diseño de bomba en ningún otro lugar del mundo.

El presente trabajo ayuda a conocer mejor la Ilustración Mexicana, documenta como una comunidad ilustrada de ese periodo se ocupó de asuntos mineros. La Ilustración caracterizada por el impulso a la creatividad, por el espíritu de inventiva, por el afán de descubrir las fuerzas de la naturaleza para el desarrollo tecnológico, tuvo repercusiones prácticas y tangibles en la explotación minera a través de la herramienta y la máquina. Las máquinas hidráulicas diseñadas por Fausto de Elhuyar y Andrés del Río estudiadas en este trabajo, fueron producto de la creatividad ilustrada de la época, contribuyeron y ampliaron el horizonte ilustrado en América, particularmente contribuyeron al conocimiento ilustrado a finales del periodo colonial. El análisis de éste trabajo confirma el desarrollo de la tecnología minera en el periodo estudiado como producto del entusiasmo inventor producto de la Ilustración.

De igual manera, este trabajo documenta como la construcción de estas nuevas máquinas llevaba implícito amortiguar el deterioro ambiental. La deforestación resultó ser junto a la falta de carbón mineral un grave obstáculo para la introducción de la máquina de vapor en la mayoría de los reales de la Nueva España. Las máquinas hidráulicas estudiadas en este trabajo fueron construidas como alternativa a la falta de madera producto de la deforestación, por lo que estas nuevas máquinas fueron diseñadas para utilizar el agua y las bestias como fuerza motriz. Su propósito principal fue drenar las minas inundadas, pero implícitamente también buscaron amortiguar el impacto ambiental. Constituyeron una alternativa al deplorable estado en que se hallaban los bosques debido a la arbitrariedad y

capricho tanto de los dueños de las haciendas como de los particulares que talaron sin consideración cuanto se les presentó en árboles y arbustos sin que hicieran diligencia alguna para la replantación y reproducción de los bosques. Las máquinas hidráulicas que estudia esta tesis fueron una alternativa al gran daño ecológico de la deforestación causada por siglos de uso de madera como combustible en el proceso de beneficio. Estas máquinas diseñadas por Fausto de Elhuyar y Andrés del Río constituyeron una propuesta ecológica sin precedentes para su época.

El presente trabajo permite entender el desarrollo tecnológico y científico en el periodo estudiado como una praxis marcada por el contexto en el que tuvo lugar.

Cuando se aplican conocimientos teóricos para la invención o mejoramiento de una máquina, el conocimiento científico y tecnológico adquiere un avance real y significativo con implicaciones no sólo locales sino universales, este es el caso de las máquinas estudiadas en este trabajo. Espero contribuir a darle la dimensión e importancia que realmente tuvieron.

ANEXO N° 1

[MANIFIESTO de la riqueza de la negociación de minas conocida por la VETA VIZCAÍNA, Real del Monte, jurisdicción de Pachuca, 1820] Lo escribió Josef Rodrigo de Castelazo, perito facultativo de minas por el Real Tribunal General de Minería de la Nueva España. Todo el documento consta de 35 páginas, del cual se incluyen de la página 26 a la 34. Este documento fue obtenido de The Bancroft Library de la Universidad de California Berkeley, con la siguiente clave bibliotecaria: F1221, .4, .C15, X

“Es indudable que concluido el referido socavón del Aviadero, no sólo se desaguará las minas de la veta Vizcaína y Santa Brígida, sino todas las que se hayan ubicadas en el Real del Monte, pues siguiendo éstas la dirección de Oriente a Poniente, y aquel la del Norte a Sur, debe precisamente cortarlas y de consiguiente proporcionar conducto a las aguas que por ella fluyen. Mas no habiendo en el expresado Real mina alguna cuya profundidad pase de doscientas varas, (a excepción de las de que se trata) llegando dicho socavón a sus vetas con un centro mayor que el que ellas tienen, es consiguiente queden enteramente desaguidas; siendo bastante para convencerse de esta verdad, ver como se refleja la situación local de dichas minas, la dirección de sus vetas y el lugar en donde el referido socavón se halla situado.

También es innegable, que los planes de aquellas quedaron en ricos y abundantes metales, y que el no haberlos disfrutado enteramente fue la causa del obstáculo invencible de sus aguas; pues así lo acreditan la tradición generalmente recibida entre todos aquellos pueblos, igualmente que los vestigios de sus antiguas producciones.

Recordando que una sola mina en bonanza proporciona no sólo la felicidad de los vecinos del suelo en que se halla ubicada, sino la de todos los de los lugares con quienes tiene relaciones de comercio, e industria, ¿cuántas ventajas no deben esperarse de una obra que por sí misma puede poner en bonanza muchas minas? Y cuán admirable deben ser los efectos de su beneficencia, que sería necesario construir otra Casa de Moneda destinada solamente a acuñar la plata que produjera el Real del Monte.

Queda dicho que su longitud deberá ser de 4330 varas hasta llegar al tiro de San Cayetano hacia donde se dirige (ver plano) calculando el costo de la excavación de cada vara y el conocimiento que se tiene del terreno, debe costar la excavación total 173 200 pesos. Además deben construirse cinco tiros inmediatos a sus principales vetas intermedias, dirigidos igualmente a disfrutarlas y a servir de lumbreras que proporcionen la libre circulación del aire y faciliten el laborío del socavón. Regulada la suma de sus profundidades a mil varas y cada una al referido precio, el importe total de los cinco tiros debe ascender a 40 mil pesos. También debe reformarse y repararse exterior e interiormente los tiros de San Cayetano, Dolores, y Guadalupe cuyos gastos con otros accesorios se considera ascenderán a cien mil pesos, lo que resulta en un total de toda la obra la de 313, 200 pesos.

El tiempo que debe dilatarse en construirlo trabajando solamente por un punto aunque sea con el mayor empeño, atendiendo la estratificación y consistencia de las montañas por cuyo centro debe conducirse, es regular con el trabajo que se haga semanalmente con el trabajo continuo de ocho horas de día y 8 hombres de

noche no pase de tres varas por semana, por lo que se necesitarían 1443 semanas, equivalentes a 28 años. Este periodo dilatado es el que ha desanimado a aquellos individuos que han intentado ejecutarla.

Pero ha faltado analizar con atención las circunstancias de la empresa. Está demostrado que con ella se desaguan todas las minas del Real del Monte, pero las minas no están en el mismo punto, sino espaciadas en toda la extensión que recorrerá el socavón. Están reconocidas y recomendables más de 40 vetas, las cuales se irán cortando como avance la excavación del socavón. Por ejemplo a mil quinientas varas se encuentra la mina de Morán cuya riqueza es bastante ponderada.

Tres años se calculan necesarios para habilitar y desaguar los tiros de Guadalupe, San Cayetano y Dolores hasta sus planes que están casi al nivel de la nueva obra, pero siendo indispensable el socavón antiguo hay que repararlo, concíbese igual tiempo para construir los otros cinco tiros necesarios para servir de lumbreras, y lo más importante se tendrían al cabo de los mismos tres años, once puntos para excavar el socavón simultáneamente. En este tiempo se habría avanzado el socavón por el punto principal 478 varas lo que quedaría por excavar sería 3870 varas, divididas entre los referidos 12 puntos corresponderían a 322 varas a cada uno, y trabajándose todos a un mismo tiempo, deberá estar concluida enteramente la obra en el término de poco más de dos años. Reflexionando ahora sobre su costo en este lapso de tiempo, sólo debe añadirse lo que se invierta en la rehabilitación del socavón antiguo y en el desagüe que debe de invertirse en cada uno de los ocho tiros, por tiempo de 4 años, tomando en cuenta que este desagüe sería hasta llegar a

los niveles más profundos. Es decir se agregaría a los 313 200 ya considerados, se le agregarían, 10 mil por la rehabilitación del antiguo socavón y 748 mil que deberían importar el desagüe por los cuatro años, considerando el uso de 36 malacates, considerando el gasto semanal de cada uno por cien pesos, resulta la suma de 1,072, 000 por el costo total de toda la obra”.

Anexo N° 2

En este apéndice expongo, en voz propia de Elhuyar, la explicación fisicomatemática de los principios que rigieron los avances que hizo a la bomba hidráulica. La siguiente explicación matemática, la proporciona Fausto de Elhuyar en su *Contestación a la vindicación*, México, Oficina de Don Mariano de Zúñiga y Ontiveros, calle del Espíritu Santo, año de 1807. fs. 19-25 y dice lo siguiente:

“[...] P expresa la fuerza necesaria para poner en movimiento alternativamente las dos bombas y mantenerlas trabajando permanentemente.

l la altura vertical de los tubos de elevación, contada desde el émbolo en su mayor descenso, que se supone de 100 varas o 300 pies.

L la longitud ó altura oblicua de los mismos tubos que en el caso presente se reduce a la vertical, por haberse supuesto colocadas las bombas en un tiro vertical; y así deben ser también de 100 varas o 300 pies.

b el levante del émbolo o el espacio que sube en el cuerpo de bomba en cada golpe, y es de 3 pies.

U el área del cuerpo de bomba, que siendo de 7 pulgadas de diámetro, resulta de 0.267 pies cuadrados.

v el área de los tubos de elevación.

t el tiempo del juego del émbolo en su ascenso y descenso, que es de 15 segundos.

g el espacio que corre un cuerpo en un segundo, cayendo verticalmente por sola su gravedad, que es de 17.6 pies castellanos.

[...] La fuerza P que expresa el agente motor de las bombas, puede considerarse representada por una columna de agua capaz de producir en ella su movimiento; y en tal caso dicha letra representará o significará esta misma columna. Si al mismo tiempo se quiere que esta columna sea de un diámetro igual al de los cilindros que forman los cuerpos de bomba, indicará la expresión P/U su verdadera

altura y esta será igual a:

$$l + \frac{L \cdot U \cdot b}{\frac{1}{4} t^2 \cdot v \cdot g}$$

Tendremos pues

$$\frac{P}{U} = l + \frac{L \cdot U \cdot b}{\frac{1}{4} t^2 \cdot v \cdot g}$$

Y si en lugar de g sustituimos su valor,

$$\frac{P}{U} = l + \frac{L \cdot U \cdot b}{\frac{1}{4} t^2 \cdot v \cdot 17 \cdot 6} = l + \frac{0 \cdot 2273 \cdot L \cdot U \cdot b}{t^2 \cdot v}$$

Esta última expresión se compone de dos términos, el primer l es la altura vertical de los tubos de elevación o de la verdadera columna de agua, que la fuerza motriz tiene que contrarrestar en el estado del simple equilibrio.

El segundo $\frac{0.2273 \cdot L \cdot U \cdot b}{t^2 \cdot v}$ debe indicar por consiguiente el aumento o prepotencia que exige dicha fuerza motriz, para producir y conservar el movimiento de las bombas, y su valor correspondiente al de la parte o trozo de la columna total P/U con que excede a la altura de la columna l .

En este segundo término $\frac{0.2273 \cdot L \cdot U \cdot b}{t^2 \cdot v}$ debe indicar por consiguiente el aumento o prepotencia que exige dicha fuerza motriz, para producir y conservar el movimiento de las bombas y su valor corresponde al de la parte o trozo de la columna total P/U con que excede a la altura de la columna l .

En este segundo termino $\frac{0.2273 \cdot L \cdot U \cdot b}{t^2 \cdot v}$, que según acabamos de ver, es el que denota la prepotencia de la fuerza motriz para el movimiento, habrá de hallarse cifrada la relación que deben guardar entre sí, los elementos de que se compone, para el mejor arreglo de cualquier bomba impelente; pues cuando mejor sea el valor que resulte de su combinación, será también menor dicho incremento de la potencia.

No me empeñaré en individualizar todas las consideraciones a que bajo de este aspecto, da lugar dicho término. Limitándome a las que conciernen a la amplitud del tubo de elevación, respecto de la del cuerpo de bomba, observaré desde luego, que cuanto mayor sea v o el área del tubo de elevación, tanto menor será el valor de dicha expresión, t cuando v llegue a ser igual a V área del cuerpo de bomba,

vendrá a reducirse a $\frac{0.2273 \cdot L \cdot b}{t^2}$ Esta expresión parece confirmar a primera vista la regla que comúnmente se da, de que el tubo de elevación sea de igual diámetro que el cuerpo de bomba; pero de ella ni de la anterior puede deducirse en manera alguna la razón inversa de los bicuadrados de los diámetros entre las resistencias de tubos diferentes, que asienta Belidor. Además de esto, aunque parece confirmar aquella regla, no la declara por la mejor; pues el valor de dicha expresión sería todavía menor, suponiendo v mayor que V y por consiguiente según ella, podría creerse que convendría hacer el tubo de elevación de mayor diámetro que el cuerpo de bomba.

Así lo nota Langsdorf, haciendo observar que $0,2273b$ rara vez excede mucho de la unidad, y cuando t es de alguna entidad y L no demasadamente grande,

la expresión $\frac{0.2273 \cdot L \cdot b}{t^2} \times \frac{U}{v}$ se diferencia poco de U/v , y en tal caso es de poca consideración su valor, aunque se haga $U=10v$, especialmente si l es a lo menos $= \frac{1}{4} L$.

Así mismo refleja, que pudiéndose contentar con que el valor de la referida expresión no exceda $1/20 l$, sería superfluo y aun perjudicial intentar disminuirlo más, haciendo mayor a v ; porque no resultaría de ello ventaja alguna sensible a la potencia.

En este concepto suponiendo $\frac{0.2273 \cdot L \cdot b \cdot U}{t^2 \cdot v} = \frac{1}{20} l$ resultará

$$v = \frac{04.546 \cdot b \cdot L \cdot U}{l \cdot t^2}$$

Y en nuestro caso. $v = \frac{04.546 \times 3.300 \times 0.267}{300 - 225} = \frac{1.213782}{75} = 0.0161837$

Esta será, pues, el área que corresponde a los tubos de elevación de las bombas proyectadas, según los datos que dejamos asentados, y es la de un círculo de 1,72 pulgadas de diámetro. En los planos presentados en la descripción al Real Tribunal General de Minería, se figuraron los tubos de elevación de dos pulgadas de diámetro, dando siete a l cuerpo de bomba; y así se les asignó mayor amplitud de la que rigurosamente exigían por sus circunstancias.

A este efecto dispuse un cilindro de bronce bien calibrado de 4 pulgadas 11/2 líneas de diámetro, al que se aplicaron sucesivamente tubos de elevación de plomo de tres especies, a saber, de 4 pulgadas 1 línea, de 2 pulgadas y 3 líneas, y de 1 pulgada 2 líneas de diámetro interior, variando igualmente para cada uno sus alturas verticales de 16, 22, y 29 pies, y los tiempos de levante del émbolo de 5 hasta 2 segundos, siendo este de 1.5 pulgadas 2 líneas y el mismo en todos los casos.

Habiendo variado con esta disposición de mil modos los experimentos, no resultó aumento alguno en la potencia en las combinaciones de los tubos del segundo diámetro, respecto de los análogos o semejantes de los del primero. En las

de los terceros lo hubo respecto de estas últimas, a saber, con el levante del émbolo en 5 segundos, de 11/2 %: con el de 4 segundos, de poco más de 3%: con el de 3 segundos, de cerca de 8%; finalmente con el de 2 segundos, de 26 %; siendo en todos estos casos la altura vertical de la columna 29,5 pies, es decir la mayor de las tres expresadas.

Si se aplica a estos últimos tubos la elevación, esto es, a los más angostos, la

expresión $\frac{0.2273 \cdot L \cdot b \cdot U}{t^2 \cdot v} = \frac{1}{20} l$ que se indicó arriba, para averiguar el valor que según ella, debe corresponder a v y cotejarlo con el que le asignan los experimentos que se acaban de referir, se conocerá todavía mejor la seguridad de las doctrinas que sobre este punto hemos adoptado.

Para este efecto se escogerá el caso en que el levante del émbolo se verificó en 3 segundos, y así será; $t=6$ segundos

$$B=1,264 \text{ pies}$$

$$L=29,5 \text{ pies}$$

$$V=0.0928 \text{ pies cuadrados}$$

En este caso será pues como arriba

$$v = \frac{4.546 \cdot L \cdot b \cdot U}{l \cdot t^2} = \frac{4.546 \times 29.5 \times 1.264 \times 0.0928}{29.5 \times 36} = \frac{0.533242}{36} = 0.014812$$

y el diámetro correspondiente a esta área será de 1,65 pulgadas, es decir, mayor que el que efectivamente tenían dichos tubos; pues era de 1,167 pulgadas. De consiguiente no puede extrañarse, que en el experimento de este caso resultase algún gravamen a la potencia, como efectivamente sucedió con los 8 % de aumento que quedan indicados.

Cualquiera que aplique este mismo cálculo a los otros tres casos, variando únicamente el valor de t , que debe ser en cada uno el duplo del tiempo empleado en el levante del émbolo, hallará el diámetro de los referidos tubos necesario, cuando el levante del émbolo ocupe 5 segundos, de 0,99 pulgadas; cuando ocupe 4 segundos, de 1,24 pulgadas; y cuando emplee 2 segundos, de 2,47 pulgadas.

En este último caso se percibe, que según la fórmula, debe salir en los experimentos aún mas gravada la potencia, que en el primero que se ha analizado, por la mayor diferencia que hay todavía entre la amplitud de los tubos que exige, y la que realmente tenían los empleados; y efectivamente resultó el aumento de 26 %, que queda insinuado. De los otros dos, el del movimiento en segundos demanda en los mencionados tubos un diámetro algo menor, y el de 4 segundos algo mayor que el de los empleados. En consecuencia no debe manifestar en los experimentos gravamen alguno la potencia en el primero, y ha de ser muy corto el que sufra en el segundo; y por tales deben en efecto reputarse el 1.5% que resultó en el primero, y el 3 % que se observó en el segundo, especialmente si se atiende a que los tubos mas angostos de que hablamos, no fueron fundidos y calibrados con barrena, como los de las dos primeras clases, sino formados con planchas delgadas de plomo

enrolladas y soldadas, y habían servido a otros usos, por lo que estaban desiguales en su calibre.

Me parece, en vista de una demostración tan clara y decisiva, que no puede haber mayor conformidad entre los resultados de los cálculos que enseña la teoría, y los efectos que manifiesta la experiencia, ni la menor duda en que pueden angostarse mas ó menos, según las circunstancias, los tubos de elevación de las bombas impelentes, sin que la potencia experimente gravaren alguno sensible, y mucho menos el exorbitante aumento que generalmente se ha tenido hasta aquí.

Para dar a conocer todavía mejor la diferencia que hay entre los resultados de mis experimentos y los que se deducen de la teoría de Belidor, haré un cotejo, aplicando esta última al caso menos favorable de aquellos, que es el en que se observó un aumento de 26 % en la potencia, respecto de los tubos mas anchos. En dicho caso, siendo el diámetro del cuerpo de bomba de 4,125 pulgadas, y el del tubo de elevación de 1,116 pulgadas, se necesitaron 225 libras para vencer la columna de 29,5 pies de altura, con el ascenso del émbolo en 2 segundos, siendo la presión ó resistencia de esta de 130 libras. Con los tubos más anchos, en igualdad de las demás circunstancias, bastaron para vencer la propia resistencia 178 libras.

Sin valerme de este último peso, sino del de 130 libras a que equivale la presión o resistencia de la columna en el estado de simple equilibrio, para denotar la fuerza motriz necesaria con los tubos mas anchos, que es la menor posible, estando las fuerzas según la doctrina de Belidor (h) en la razón reciproca de los cuadrados o

de las cuartas potencias de los diámetros de los tubos de elevación, deberá formarse, llamando x la fuerza correspondiente, para vencer la resistencia con los tubos angostos, la proporción siguiente.

$$(4.125)^4 : (1.167)^4 :: x : 130$$

De donde se sacará
$$x = \frac{(4.125)^4 \times 130}{(1.167)^4}$$

Y calculando por logaritmos

$$\begin{aligned} \log x &= 4 \log 4.125 + \log 130 - - - 4 \log 1.167 = \\ &4 \times 0.6154240 + 2.1139433 - - - - 4 \times 0.0670709 = \\ &4.5756393 - - - 0.2682836 = 4.3073560 \end{aligned}$$

De donde sale por fin x=20290 libras= 811.6 arrobas

Estas 811.6 arrobas serán, pues, necesarias, según la Teoría de Belidor, para vencer, en el caso supuesto la resistencia de la columna con los tubos angostos, y según mis experimentos conformes con la Teoría de Langsdorf, no se necesitaron, para efectuar realmente el vencimiento mas que 225 libras o 9 arrobas.

Si en lugar de suponer las 130 libras que demandaba el equilibrio con los tubos anchos, se hiciera el cálculo con las 178 que efectivamente se necesitaron en el experimento, saldría todavía mucho mayor la diferencia.

Con tan sólidos fundamentos ¿Qué reparo podía tener ya en adoptar la doctrina de Langsdorf para la construcción de las nuevas bombas proyectadas en los términos que quedan insinuados?

Darí­a con gusto razón de otros hechos curiosos observados en estos experimentos, si la naturaleza y fines de este papel no me contuviesen. Reservándolos, pues, para cuando colectados todos los materiales publique como me he propuesto, una relación individual, me limitaré por ahora a indicar uno de los resultados más extraños.

Cotejando los pesos que exigieron los tubos de elevación de cada clase en sus tres diferentes alturas para vencer la presión o resistencia de cada columna con los valores respectivos de esta resistencia, resultan unas diferencias que no guardan proporción con dichas alturas como parece que debiera suceder, si los obstáculos accesorios que hay que vencer en el movimiento y en especial el rozamiento siguiesen en esos casos, como por lo regular, la razón de las presiones. De este cotejo se deduce, que aunque aumenta con la altura la resistencia procedente de estos obstáculos, la razón que guardan dichas diferencias con sus correspondientes presiones, va disminuyendo a proporción que aumenta la altura. En mi relación presentada al Real Tribunal de Minería, indiqué en consecuencia, dando razón de este fenómeno, que si mis experimentos mereciesen suficiente confianza a este punto, diría que la serie de los términos de dichas razones sigue en su disminución la razón directa de las alturas de las columnas de elevación, es decir, en sí mismo la inversa de estas propias alturas; pero no atreviendo a fijar esta ley de un modo

seguro por aquellas primeras observaciones, añadí, que su exacta determinación demandaba un examen más prolijo; insinuando al propio tiempo, que esa disminución relativa en la resistencia presentaba cierta conformidad con la observada por el Abate Bossut en los experimentos sobre los gastos de un mismo tubo con diferentes alturas de depósitos, que podían verse en las páginas 205 y 290 en la obra grande de Bails.

No es esta ley la que debe guardar, sino otra muy distinta, en que se combina la altura y la longitud del tubo, el levante del émbolo y su velocidad, el diámetro del cuerpo de bomba y el efecto de la gravedad en los cuerpos”.

FUENTES Y BIBLIOGRAFÍA:

Archivos consultados

AHCRMP Archivo Histórico de la Compañía Real del Monte y Pachuca, Pachuca Higo.

AGN Archivo General de la Nación, México, D. F.

AHPM Archivo Histórico del Palacio de Minería, México, D. F.

Documentos:

[Acuerdo del Real Tribunal de la introducción de la máquina de vapor (estadounidense) para las minas y de administración y gastos para la construcción de esta máquina bajo la supervisión de ingenieros norteamericanos, México, 1825] AGN, Minería, Vol. 189, Exp. 36

[Plan para introducir en el reino las máquinas de vapor, México, 1820] AGN, Minería, V. 28, exp. 4, fs. 146-147v

[Informe de Fausto de Elhuyar al Virrey José de Iturrigaray sobre las posibilidades de introducir la máquina de vapor a la Nueva España, México, 14 de marzo de 1804] AGN, Minería, V. 28, Exp. 5, fs. 190-193v

AGN, Minería, Vol. 28, Exp. 7, f. 152

AGN, Correspondencia de virreyes, vol. 190, exp. s/n.

AGN, Minas, vol. 29, Exp. 36

AGN, Minas, Vol. 29, Exp. 37

[Real Orden del 12 de marzo de 1805] AGN, Minería, Vol. 28, Exp. 7.

[Contestación a la circular del 19 de mayo de 1806, Secretaria del Virreinato, México 18 de octubre de 1806] AGN, Minería, Vol. 28, exp. 7, fs. 252-257v.

[Informe de Fausto de Elhuyar y Andrés del Río a Don. Xavier Venegas, 22 de febrero de 1811] AGN, Minería, Vol. 28, Exp. 5, fs. 223-227v

[Respuesta de Elhuyar a la Real Orden del 9 de agosto de 1818. Testimonio del expediente instruido en el Tribunal General por el señor Director de ella, promoviendo providencias para surtir combustible para las máquinas de vapor, México, 13 de enero de 1819] AGN, Minas, Vol. 28, Exp. 6, fs. 355-361

AGN, Minería, Vol. 28, Exp. 7, fs. 146-172

AGN, Minas, Vol. 30, Exp. 12, fs. 403-404

[Testimonio del plan formado por la Junta de Mineros para establecer una empresa que introduzca la máquina de vapor, 13 de enero de 1820] AGN, Minería, Vol. 28, Exp. 8, fs. 371-396

[*MANIFIESTO de la riqueza de la negociación de minas conocida por la VETA VIZCAÍNA* Ubicada en el Real del Monte, jurisdicción de Pachuca, de las grandes obras que de ella se hicieron, y del estado actual en que se halla, para la compañía de accionistas que desea celebrar a fin de continuar su laborío bajo las condiciones que se expresan. Su actual poseedor el señor D. Pedro Josef Rodríguez Sáenz de Pedroso, Romero de Terreros Tercer Conde de Regla. Lo escribió de su orden; D. Josef Rodrigo de Castelazo, perito facultativo de minas por el Real Tribunal General de Minería de ésta Nueva España. Con superior permiso; este texto fue impreso en la Casa de Ontiveros, en el año de 1820] Este documento consta de 35 páginas, y fue obtenido de The Bancroft Library de la Universidad de California Berkeley, con la siguiente clave bibliotecaria: F1221, .4, .C15, X

[Denuncio general hecho por Andrés del Río y compañeros a la mina de Morán, Santa Bárbara y anexas en el Real del Monte, 3 de enero de 1799] AHPM, II, 99, d. 18, f. 4

[Solicitud de extensión de la Gracia por quintos y azogue, pedida por Don Francisco Miao, Don Manuel Basai y Don Andrés del Río, diputados estos de la compañía de minas nombrada de Morán y sus anexos, situada en el Real del Monte, dirigida al Sr. Fiscal de Pachuca, México, 10 de julio de 1809] AGN, Minas, V. 58, exp. 2, fs 105-111

[Discurso leído en el acto político de Física del Real Seminario de Minería la tarde del 19 de agosto de 185, por el profesor de física, Juan José de Oteiza sobre las bombas hidráulicas construidas por Fausto de Elhuyar] AHPM, Documentos de Elhuyar, 1778-1822, ML-357-B, fs. 205-212v

[El viaje de Federico Sonnenschmid en busca del carbón] AGN, Minas, vols. 28 y 29.

[Autos, para establecer el desagüe y trabajo de la mina de Morán, 9 de oct. De 1779] AHPM, V, 102, d. 15

[Maquinaria minera, Nicolás Figueroa y Antonio Campuzano, diputados de minería de Temascaltepec se dirigen al Tribunal de Minería para informar del funcionamiento de una máquina movida por agua en la mina del Vado, Temascaltepec, 19 de febrero de 1825] AHPM, 187, d.18

[Máquina de vapor en Temascaltepec, marzo de 1824] AHPM, J, 185, d. 15

[Oficio del Tribunal de Minería para que se efectúen las diligencias necesarias en la mina *de Jesús*, en Real del Monte, para dictaminar su avío, México 16 de agosto de 1784] AHPM, IV, 17, d.11, fs. 101

[María Arismendi da cuenta de lo que ha suministrado el Tribunal de Minería para los gastos de la maquinaria de vapor que se está estableciendo en la mina del Sr. San José, por cuenta de don Sebastián Smith y Roberto McQueen, México 22 de marzo al 23 de agosto de 1824] AHPM, I, 185, d. 15

Bibliografía:

Aguilera G. José, *El mineral de Pachuca*, México, Secretaria de Fomento, 1897, 183 p.

Arnaiz y Freg Arturo, “Fausto de Elhuyar y Zubice”, *Revista Historia de América*, N° 6, 1939, 75-96 p.

-----*Andrés Manuel del Río: Estudio biográfico*, México, Casino Español de México, 1936, 131 p.

Ballesteros Víctor, “La tecnología minera en la región de Pachuca en el siglo XVII” en *Memoria del Primer Coloquio de Historia Regional*, Universidad Autónoma de Hidalgo, México, 1986, pp. 175-211

Brading A. David, *Mineros y comerciantes en el México borbónico 1763-1810*, México, Fondo de Cultura Económica, 1975, 499 p.

Bronstein Punski, Clara, *La introducción de la máquina de vapor en México*, Tesis de Licenciatura en Historia, UNAM, México, 1965, 195 p.

Burkart Joseph, *Memorias sobre la explotación de minas en los distritos de Pachuca y Real del Monte*, 2da ed., trad. del alemán por Miguel Velásquez de León, introducción de Víctor M. Ballesteros, México, Universidad Autónoma de Hidalgo, 1989: LXXXVI+113 p., (Serie Facsi Tomos s/n) sobre la primera edición en español de 1861.

Castillo Martos Manuel, *Minería y metalurgia, intercambio tecnológico e industrial entre América y Europa durante el periodo colonial*, Sevilla, Muños Moya Editores, 1994, 501 p.

Chávez, Orozco Luis, *La situación del minero asalariado en Nueva España a fines del siglo XVIII*, México, Centro de Estudios Históricos del Movimiento obrero Mexicano, 1978: 103 p. (Cuadernos obreros, 19)

Dahlgren, Charles Buniter, *Minas históricas de la República Mexicana*, México, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento, 1887, 241 p.

Díaz y de Ovando Clementina, *Los Veneros de la ciencia mexicana*, T. 1, México, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1998, 954 p.

Elhuyar Fausto, *Contestación a la vindicación*, México, Oficina de Don Mariano de Zúñiga y Ontiveros, calle del Espíritu Santo, año de 1807. 41 p.

Escamilla González Omar, “Ilustración alemana y ciencia novohispana: la biblioteca de Fausto de Elhuyar”, en *Alemania y México, percepciones mutuas en impresos, XVI-XVIII*, Pietschman Horst et al., edit. México, Universidad Iberoamericana, 2005, 401 p.

Flores Clair Eduardo, *Minería, educación y sociedad, el Colegio de Minería 1774-1821*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2000, 239 p.

Hermosa Francisco de Paula, *Manual de laboreo de minas y de beneficio de metales*, Paris, Librería de Rosa Buuret, 1857, 261 p.

Herrera canales Inés, “La larga etapa de reconstrucción de la minería mexicana postindependiente, 1821-1870. (Ponencia escrita para la IV Reunión de Historiadores de la Minería Latinoamericana, Plattsburgh, julio de 1995, 24 p.)

Howe, Walter, *The mining guild of New Spain and its Tribunal General, 1770-1821*, Greenwood, Press Publishers, New York, 1968, 534 p.

Huerga Melcón Pablo, *La ciencia en la encrucijada, análisis crítico de la celebre ponencia de Boris Hessen*; “Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton”, Oviedo, Pentalfa Eds, 1999.

Izquierdo José Joaquín, *La primera casa de las ciencias en México, el Real Seminario de Minería; 1792-1811*, México, Ediciones Ciencia, 1958, 181 p.

Jariez Julio, *Curso completo de ciencias matemáticas, física y mecánica aplicadas a las artes industriales* t. VI, Traducido del francés por Francisco Solano Pérez, Santiago de Chile, Imprenta del Ferrocarril, 1860, 363 p. p. 140

Ladd M. Doris, *Génesis y desarrollo de una huelga. La lucha de los mineros mexicanos de la plata en Real del Monte, 1766-1775*, México, Alianza Editorial, 1992. 233 p.

León Portilla Miguel, et al., *La minería en México*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1978, pp. 69-164

Mendizábal, José Othón de, “Los minerales de Pachuca y Real del Monte en la época colonial”, en *Trimestre Económico*, México, vol. VIII, núm. 30, 1941, pp. 283-284

Muro Hermosillo, “Informe sobre los minerales de Pachuca y Real del Monte” *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*, II, 1907, p. 137

Navarrete, Gómez David, *Propietarios y trabajadores en el distrito de minas de Pachuca, 1750-1810*, Tesis de licenciatura en historia, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 1992, 182 p.

Newton R. Gilmore, “British Mining Ventures in Early National Mexico”, *Doctoral Tesis in History*, Berkeley, University of California, 1956:275 p.

Ortega Morel Javier, "Las maquinas de vapor en el Distrito Minero Pachuca Real del Monte", en *La minería en Real del Monte y Pachuca* núm. 6, marzo de 1993, Universidad Autónoma de Hidalgo, (Apuntes hidalguenses), 1992, pp. 5-26

Ordoñez Ezequiel y Manuel Rangel, *El Real del Monte*, México, Instituto Geológico de México, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento, 1899, p. 55

Prieto Carlos, *Andrés Manuel del Río y su obra científica*, México, Compañía Fundidora de hierro y acero de Monterrey, 1966, 81 p.

Ramírez Santiago, *Datos para la historia del Colegio de Minería*, México, Sociedad de exalumnos de la Facultad de Ingeniería, UNAM, 1982, p. 199 p.

----- *Biografía del Sr. Andrés Manuel del Río; primer catedrático de mineralogía en el Colegio de Minería*, México. Impresiones del Sagrado Corazón de Jesús, 1891, 56 p.

Randal W. Robert, *Real del Monte, una empresa británica en México*, 2da ed., trad. del inglés por Roberto Gómez, México, Fondo de Cultura Económica, 1986: 284 p.

Romero Sotelo María Eugenia, *Minería y Guerra, la economía en la Nueva España, 1810-1821*, México, Colegio de México, 1997, 292 p.

Sánchez Flores, Ramón, *Historia de la tecnología y la invención en México, introducción a su estudio y documentos para los anales de la técnica*, México, Fomento Cultural Banamex, 1980, 647 p.

Segura Sebastián José, "Mineral de Pachuca" Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, época I, V.II, 1850, 258 p.

Tamayo, Jorge, "La minería de Nueva España en 1794", *El Trimestre Económico*, México, julio-sept., 1943, pp. 287-319

Taylor John, *Selections from the Works of the Baron de Humboldt, relating to the climate, inhabitants, production and mines of México*, London, Longman, 1824, XXXII+310 p.
The Philosophical Magazine, Vol. 1, N° 4, April 1827

Trabulse Elías, *El círculo roto*, México, Fondo de Cultura Económica, 1992, 247 p., (Lecturas mexicanas 54)

Vallejo José Mariano, *Tratado sobre el movimiento y aplicación de las aguas*, t. II, Madrid, Imprenta de Miguel Burgos, 1833, 556 p. pp. 155-156.

Vilchis Jaime y Victoria Arias, *Ciencia y Técnica entre el viejo y el nuevo mundo, XV-XVIII*, Madrid, Ministerio de Cultura, 1992, 501 p.

WARD, George Henry, *México en 1827*, México, Fondo de Cultura Económica, (lecturas mexicanas núm. 73), 1985, 205 p.

Whitaker A. P. "More about Fausto de Elhuyar", *Revista de Historia de América*, N° 10, diciembre de 1940, pp. 125-130