

ASPECTOS DE LA TECNOLOGÍA MINERA EN NUEVA ESPAÑA A FINALES DEL SIGLO XVIII

Elías TRABULSE
El Colegio de México

A don Modesto Bargalló

I

EN EL ÚLTIMO cuarto del siglo XVIII la corona española realizó una de las más vigorosas tentativas de renovar las técnicas mineras novohispanas de extracción y beneficio de la plata, el más importante renglón de la economía de la colonia. Una larga secuela de disposiciones oficiales que apuntan en esa dirección corren de la visita de José de Gálvez a la creación y el establecimiento del Real Seminario de Minería. Entre todo este conjunto de medidas ocupa un lugar relevante dentro de la historia de la tecnología mexicana la labor realizada entre 1788 y 1798 por un grupo de ingenieros y metalurgistas alemanes encabezados por Fausto de Elhuyar, primer director del Seminario, en algunas regiones mineras del virreinato. La iniciativa oficial de enviar a este grupo de expertos partía de la base de que su presencia podía facilitar la introducción de las nuevas técnicas europeas de beneficio, o en su defecto el mejoramiento de las ya existentes, y ayudaría a un mejor laboreo de las mismas, principalmente en lo concerniente a la geometría subterránea. Sin embargo era el primer aspecto el que más atraía la atención de los técnicos ya que, a partir de la publicación en 1786 de la obra metalúrgica del barón Ignaz von Börn, estos peritos, incluido Elhuyar, consideraron seriamente la posibilidad de introducir su método de beneficio en las minas argentíferas de México. En ese año

Börn era el siguiente: se tostaba previamente la mena pulverizada con sal en un horno de reverbero; a continuación se introducía la masa resultante en un tonel de madera donde se le añadían el azogue, una gran cantidad de agua y pequeñas limaduras de hierro. El tonel de madera se hacía girar horizontalmente conectado en serie con otros toneles movidos por lo general por fuerza hidráulica. Al finalizar la operación se separaba la amalgama y se destilaba el azogue para obtener la plata.⁹ La sencillez del proceso y su conveniencia desde el punto de vista económico resultaban obvios, pero los resultados obtenidos en las minas mexicanas por los técnicos alemanes fueron prácticamente nulos.

Varias fueron las causas que concurrieron a hacer que el método de Börn no lograra aclimatarse en tierras novohispanas,¹⁰ siendo las principales la carencia de combustible suficiente para llevar a cabo la primera fase del proceso, o sea la calcinación de los minerales pulverizados,¹¹ y la falta de fuerza motriz efectiva y constante que permitiese mover todos los toneles necesarios para las grandes masas de mine-

⁹ PHILLIPS, 1867, pp. 364-389. Este autor hace una detallada descripción del proceso y de las reacciones químicas que se efectuaban. En rigor el método de cazo difiere en algunos puntos básicos del de Börn, pero ni Elhuyar, ni Garcés y Eguía, ni Humboldt estaban en posibilidades de determinar la diferencia existente en el tipo de reacciones químicas que se llevaban a cabo en ambos procesos. En el método de cazo original (en un principio Börn utilizaría un cazo con molinetes, antes de decidirse por la mezcla en barriles) el ahorro del mercurio se debía a que el cloruro de plata (AgCl) que se formaba se reducía a expensas del cobre de los cazos donde se verificaba la amalgamación. En este método los cloruros se reducen efectivamente produciendo cloruro de cobre, cosa que no ocurre *strictu sensu* en los barriles de madera con el mercurio.

¹⁰ En las minas sudamericanas la expedición de Nordenflycht no logró, más que en casos aislados, mejores resultados. *Vid.* BAROALLÓ, 1969, p. 434.

¹¹ En el Perú, donde se practicaba el método de cazo de Barba, este impedimento no era serio ya que dicho método también especificaba la calcinación previa de los minerales. En 1787 Elhuyar había observado que el método de Börn, que no era otro que el de cazo, podía reintroducirse en América, pues afirmaba que los americanos lo habían

ral sacado a la superficie. Humboldt, quien ponderó largamente los logros y fracasos de los técnicos germanos, afirmó que el método de Börn, adecuado para los volúmenes extraídos de las minas de Feiberg, era inoperante en México, donde dichos volúmenes eran considerablemente mayores, lo que hacía imposible contar con los toneles necesarios para procesarlos y con la fuerza motriz para moverlos.¹² A todo ello había que añadir la tradicional resistencia de los mineros mexicanos a cualquier tipo de innovación tecnológica.¹³ Tanto Sonneschmidt como Elhuyar, quienes lucharon afanosamente por introducir en Sombrerete el método de Börn, comprendieron que las condiciones de la minería mexicana hacían más apto para el beneficio el método tradicional de "patio" ya que sus costos de operación eran sustancialmente menores, no requería fuerza hidráulica permanente ni complicada maquinaria, podía prescindir de expertos y técnicos ya que operaba empíricamente según viejas fórmulas, y, además, contra lo que se había pensado, servía para beneficiar menas con bajo contenido argentífero.¹⁴ En suma, como Elhuyar afirmó en diciembre de 1792 rectificando su anterior parecer, el método tradicional

olvidado. Es obvio que ignoraba que ese procedimiento era el practicado en Perú y que en México no podía ponerse en funcionamiento debido a la carencia de los combustibles necesarios para tostar las grandes cantidades de mineral que se procesaban. El sabio padre Alzate observó lo anterior en un artículo que publicó el 12 de febrero de 1788 en la *Gaceta de México*. MOTTEN, 1972, p. 55. Garcés y Eguía afirmó a principios del siglo XIX que el beneficio de metales por fundición era poco practicado en México debido a la ausencia de combustibles. GARCÉS Y EGUÍA, 1802, p. 86. Este hecho favoreció el que, al reducir la corona el precio del azogue, una mayor proporción de mineros optaran por la amalgamación. BRADING, 1975, pp. 209ss.

¹² HUMBOLDT, 1941, m, p. 288-289.

¹³ REVILLAGEDO, 1966, núm. 499, p. 214; *Los virreyes*, 1972, I, pp. 191ss.

¹⁴ SONNESCHMIDT, 1825, pp. 91-93. En 1790 Alzate afirmó que por el método de patio habían logrado beneficiarse minerales que sólo contenían una, una y media o dos onzas de plata por quintal. ALZATE, 1831, II, pp. 84-91.

de amalgamación era el más apropiado para las minas mexicanas por su "sencillez, economía y exactitud".¹⁵

De hecho, desde mediados de 1790 parecía evidente que las tentativas de reformar los procedimientos de beneficio se habían topado con obstáculos insuperables. El 29 de octubre del año siguiente Revillagigedo envió a la corona un primer informe bastante pesimista acerca de los logros de la expedición de metalurgistas alemanes, en el cual comunicaba haber solicitado información más detallada a los diversos reales mineros donde habían laborado, para conocer con mayor precisión lo realizado. Apoyado en dichos datos prometía dar noticias más amplias. Los informes que recabó, y que habían sido redactados por los oficiales de los distritos mineros de Zacatecas, Taxco, Guanajuato y Oaxaca así como por personas competentes, fueron sometidos posteriormente a la opinión del director, del fiscal y del asesor del Tribunal de Minería, todo lo cual hizo que no fuese sino hasta el 20 de noviembre de 1793 que Revillagigedo pudo enviar al ministro de estado un segundo informe con el balance final de la expedición,¹⁶ que para esas fechas había costado a la corona la suma de 403 209 pesos,¹⁷ y cuyos resultados eran, en la práctica, bastante pobres. El virrey anexaba a dicha carta los informes y dictámenes recabados que, según su parecer, eran difíciles de conciliar e inclusive resultaban contradictorios, y optaba por adherirse al dictamen del asesor Eusebio Bentura Beleña, que fue ratificado por el Tribunal de Minería y por la Junta Superior de Real Hacienda, el cual señalaba que los únicos beneficios aportados por el contingente de técnicos alemanes se reducían a una mejor labor de carpintería en las minas, al uso de herramientas más eficientes, y a un sistema novedoso y funcional de ventilación en los tiros. Respecto del método de Börn coincidía con Elhuyar en señalar la supe-

¹⁵ REVILLAGIGEDO, 1966, núm. 506, p. 216.

¹⁶ HOWE, 1968, pp. 315-316.

¹⁷ REVILLAGIGEDO, 1966, núm. 503, p. 215.

rioridad del método de "patio", aunque se reservaba una opinión definitiva hasta no conocer los resultados de los experimentos que se estaban todavía realizando para conocer a fondo las causas del fracaso,¹⁸ lo que no fue óbice para que hiciera algunos elogios de la capacidad y conocimientos de los alemanes.¹⁹

Lamentablemente los informes de los diversos distritos mineros y los dictámenes del Tribunal de Minería están perdidos, y sólo existe la carta del virrey que anuncia la remisión de los mismos, hecho que nos impide conocer las disímiles y contradictorias opiniones emitidas por los oficiales y peritos consultados acerca del nuevo método de beneficio. Sin embargo una valiosa excepción existe, y a ella dedicaremos algunos comentarios, ya que representa la única posibilidad real que tuvo el proceso de Börn de ser aceptado y utilizado con éxito en la Nueva España en el último decenio del siglo xviii.

EL 19 DE AGOSTO de 1791 la diputación minera de Real del Monte, en cumplimiento de una orden superior de Revillagigedo y del Tribunal de Minería, citaba a José Antonio Ribera Sánchez para que asistiese en su carácter de perito metalurgista a los experimentos que se realizarían con el fin de probar la efectividad de un nuevo invento para beneficiar plata y otros metales hecho por José Gil Barragán, cura y juez eclesiástico del citado real. El dictamen sobre la eficacia del invento había de ser remitido al virrey, quien a su vez lo turnaría al Tribunal para conocer su parecer.

Éste fue el origen de dos obras metalúrgicas datadas en 1792 que planteaban la posibilidad de una reforma efectiva a la técnica tradicional de beneficio seguida en la Nueva España durante dos siglos y medio, y que se situaban cronológicamente entre los tratados de beneficio que exponían

¹⁸ HOWE, 1968, pp. 315ss; *Los virreyes*, 1972, p. 192; REVILLAGIGEDO, 1966, núm. 485, pp. 212-213.

¹⁹ REVILLAGIGEDO, 1966, núm. 504, pp. 215-216.

llanamente el sistema de amalgamación, tales como los de Ordóñez de Montalvo (1758), Moreno y Castro (1758), Gamboa (1761) y Sarria (1784), y aquellos que aportaban alguna novedad o exponían las posibles variantes del proceso, como son los de Garcés y Eguía (1802) y Sonneschmidt (1805).²⁰ El título de la primera de dichas obras es *Idea sucinta de metalurgia* y su autor fue el propio Ribera Sánchez, quien se sintió en la necesidad de escribir un tratado que sirviese de introducción teórica a la obra de Gil Barragán titulada *Nuevo descubrimiento de máquina y beneficio de metales por el de azogue*.²¹ Aunque esta última lleva como autor al inventor, fue Ribera quien realmente se encargó de redactarla y enviarla al virrey junto con la suya.²²

Poco sabemos acerca de los autores.²³ Ribera decía tener una experiencia de más de cuarenta años en los reales mineros de la Nueva España.²⁴ Era minero matriculado y

²⁰ Es digna de encomio la labor realizada por el Archivo General de la Nación, a través de su Departamento de Investigación y Localización de Documentos Históricos, en la búsqueda y adquisición de materiales científicos mexicanos de la época colonial y del siglo XIX con los que ha enriquecido recientemente sus acervos.

²¹ Se conservan en la biblioteca del AGNM, *Sección de manuscritos*. En lo sucesivo se citarán respectivamente por los apellidos de sus autores.

²² Esto lo sabemos ya que la obra de Gil está escrita en tercera persona, y se alude a él con los nombres de "el cura", "el inventor", etc. En la p. 34 de dicha obra su autor, que no es otro que Ribera, dice expresamente: "fui nombrado por la diputación". Además es obvio que el redactor del MS conocía bien el invento y su funcionamiento. La descripción del mismo, que ocupa toda la obra de Gil, bien pudo haber sido dictada por éste a Ribera, quien reelaboraría el manuscrito original dando cabida a las alusiones a Gil en tercera persona.

²³ Tanto las obras como sus autores son desconocidos en los repertorios bibliográficos de la época colonial. Tampoco hemos localizado copias de dichas obras en los repositorios documentales que conservan este tipo de materiales. Por otra parte, no deja de llamar la atención el hecho de que ni Garcés y Eguía ni Sonneschmidt, que aluden aunque sea brevemente al proceso de Börn en México, hagan referencia a esta obra.

²⁴ Ribera Sánchez, p. 25.

IDEA SUCINTA

DE METALURGIA

DISPUESTA

POR D. JOSÉ ANTONIO
RIBERA SANCHEZ,

Minero Matriculado, Examinado, y
Titulado en las dos Facultades de
Mineralogia y Metalurgia.

POR

EL REAL TRIBUNAL GRÁL. DEL
IMPORTANTE CUERPO DE LA MI-
NERIA DE ESTA N. E.

Al fin de dar al Cuerpo de Mineros
noticia del beneficio nuevo que ha manifesta-
do el B. D. José Gil Barragán, Cura Juez
Eclesiastico de este Real
Minas del Monte.

Año de 1792.

FIGURA 1. Portada del manuscrito de Ribera Sánchez.

titulado en mineralogía y metalurgia de acuerdo con lo establecido en las *Reales ordenanzas de minería*, lo que avalaba su capacidad como perito dictaminador.²⁵ Por las fechas en que la diputación de Real del Monte lo convocó para que observase en funcionamiento el invento de Gil, Ribera trabajaba en la mina de Santa María de Guadalupe en la Sierra de El Nopal, situada al norte de dicho real. En el año de 1793 levantó un plano de la mina de San Rexis,²⁶ y en 1794 hizo otro de la de Guadalupe.²⁷ Respecto de Gil Barragán los datos son más escasos. Sabemos que era cura beneficiado de Real del Monte, experto en "física, química y maquinaria", y que para desarrollar su invento, en el cual laboró más de dos años, se dirigió al virrey Revillagigedo, quien lo estimuló y patrocinó.²⁸

La *Idea sucinta de metalurgia* consta de una dedicatoria a Revillagigedo fechada el 12 de mayo de 1792 en la Sierra de El Nopal, un prólogo, un preludio y veintiocho proposiciones, en tanto que el *Nuevo descubrimiento de máquina y beneficio de metales por el de azogue* está compuesto de dieciséis capítulos a los que en alguna ocasión se les pensó añadir algunos planos o croquis que en caso de ser impresa la obra pudieran ser útiles a aquellos que se interesasen en poner en funciones el invento. Gil llegó inclusive a hacer una petición expresa al virrey de que diera a las prensas las láminas que ilustraban el diseño de la maquinaria.²⁹

²⁵ Ribera Sánchez, p. 30. En las *Reales ordenanzas de minería* se establecía claramente: "Todos los que hubieren trabajado más de un año una o muchas minas, expendiendo como dueños de ellas en todo o en parte su caudal, su industria o su personal diligencia y afán, serán matriculados por tales mineros de aquel lugar, asentándolos por sus nombres en el libro de matrículas que deberán tener el juez y escribano de aquella minería" *Ordenanzas de minería*, 1783, título 2o., art. 2, p. 22. *Vid.* también Howe, 1968, pp. 74-75.

²⁶ AGNM, *Minería*, vol. 77, exp. 1, f. 8.

²⁷ AGNM, *Minería*, vol. 77, exp. 5, f. 46.

²⁸ Gil Barragán, p. 26.

²⁹ Gil Barragán, pp. 23, 27, 30.

NUVO

DESCUBRIMIENTO

DE

MAQUINA,

Y

beneficio de Metales

por el de Azogue,

Su Autor

El B. D.ⁿ José Gil Barragán,

Cura y Juez Eclesiastico

del Real y Minas

del Monte.

Año de 1792.

FIGURA 2. Portada del manuscrito de Gil Barragán.

Las razones que tuvo Ribera para dar una tan prolija descripción de la invención de Gil no eran otras que el deseo de ver en operación en gran escala un invento al que denominó inicialmente "máquina de barril", que en la práctica probó trabajar eficazmente en el beneficio de los metales por amalgamación,³⁰ y que en realidad no era otro sino el de Börn modificado según los requerimientos y posibilidades de combustible y fuerza motriz de los reales mineros novohispanos. El científico español Antonio de Pineda, miembro de la expedición de Alejandro Malaspina, que recorrió a mediados de 1791 algunas zonas mineras del virreinato,³¹ entre las que estaba Real del Monte,³² vio trabajar la máquina y elaboró un amplio informe donde estudiaba el proceso de amalgamación por este método, sus rendimientos, y la posibilidad de extender su uso a todas las minas del reino.

Por otra parte, la variante de Gil Barragán al método de Börn fue realizada con base en las noticias que sobre el proceso de beneficio de este último difundió el virrey Flores por todos los reales de minas en 1788 a la llegada de los técnicos alemanes. Aunque ninguno de ellos fue comisionado expresamente a Real del Monte,³³ Sonneschmidt, en su viaje a Zacatecas y Sombrerete, se detuvo en Pachuca y Real del Monte durante algún tiempo, el suficiente para dar noticia del método del barón alemán y de su funcionamiento.³⁴ Éste fue el origen del invento de la máquina de Gil, que a lo largo de dos años, 1790 y 1791, iba a sufrir varias modificaciones hasta llegar a la forma definitiva que

³⁰ Ribera Sánchez, *preludio*.

³¹ Agradezco la información acerca de los viajes de Pineda por el interior del virreinato, así como del itinerario preciso que siguió, a la señorita Virginia González Claverán de El Colegio de México.

³² Antonio de Pineda: "Viaje desde México a Guanajuato con Rodeo por Zempoala, Pachuca y Real del Monte", en AMNM, MS. 563, ff. 118r-121v.

³³ *Vid. supra*, nota 6.

³⁴ Gil Barragán, p. 2; MOTTEN, 1972, pp. 46-47.

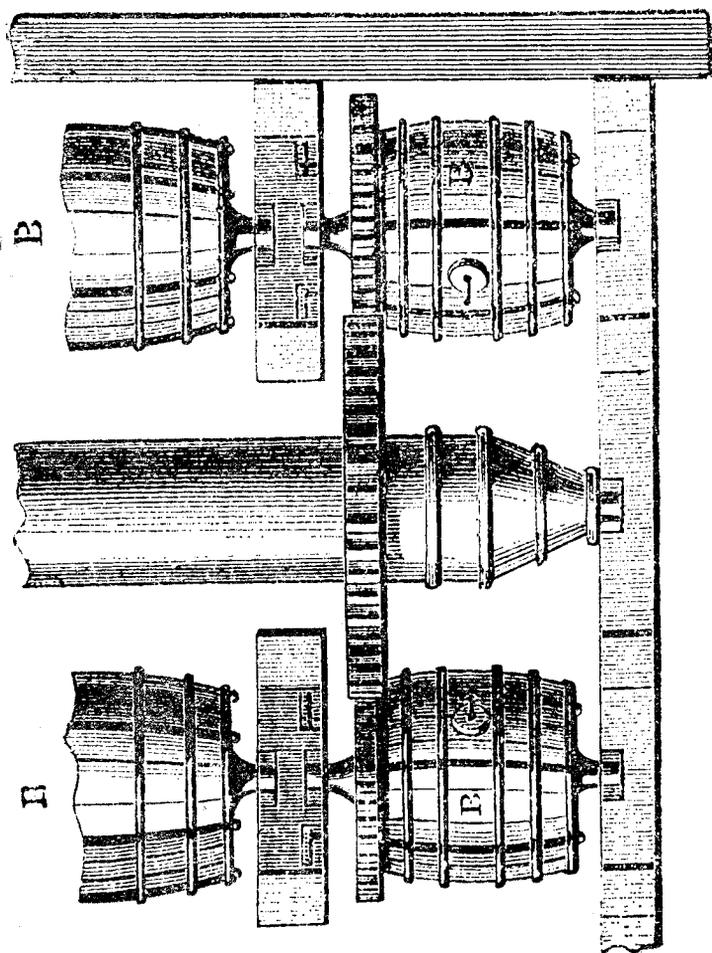


FIGURA 3. Barriles de amalgamación.

aparece descrita en el manuscrito. Este último modelo de máquina fue el que Gil comunicó al Tribunal de Minería y al virrey para su conocimiento, lo que originó la gestión de la diputación de Real del Monte y la convocatoria a Ribera para hacer experimentos con el invento ya perfeccionado. Gil fundaba su pretensión de que la máquina fuera aprobada por el Tribunal en el hecho de que las *Reales ordenanzas* de minería insistían en que todos los inventores de "máquinas, ingenios o arbitrios, operaciones o métodos", debían ser atendidos y estimulados en sus investigaciones y, de mostrarse su utilidad, podían ser premiados con el privilegio de su explotación de por vida, quedando a su juicio y consentimiento el autorizar a otros la explotación del invento.³⁵ De hecho, el mismo Gil, consciente de la importancia de su máquina, sugirió que el Tribunal y su Banco de Avío se preocupasen por difundir el uso de ella en los diversos reales, aunque creía que de no contar con este apoyo los mismos mineros podían dárselo en el momento en que se convencieran de la utilidad y provecho que les granjearía el adoptar ese proceso de beneficio.³⁶ Más aún, con cierta agudeza, no dudó en afirmar que su invento era de aplicación universal para los países de América y Europa,³⁷ lo que según él proporcionaría pingües beneficios económicos a la corona, tal como sucedía en otros países. Al efecto dice:

No me parece fuera de el intento traer a colación la bella política de las naciones europeas. Un estuchito, una pinturita, y cualesquiera otra bagatela de tejidos y labrados que inventa el vasallo de aquellos dominios luego a el punto los toman los superiores bajo su protección para que salga a el público, y se propaga hasta nuestras Indias a fin de extraernos la onza de oro por la ochava de hilo entretejido y enlazado en los encajes de cartón y lo demás que costea el lujo y la vanidad. De esto

³⁵ *Ordenanzas de minería*, 1783, título 18, arts. 17, 18, 19, pp. 201-203.

³⁶ Gil Barragán, p. 31.

³⁷ Gil Barragán, pp. 25-26.

tenemos bastantes ejemplos en los cajones de mercería y bodegas llenas de vidrio que llaman abalorios, plomo, estaño, cobre, acero pavonado, hueso, papel pintado con artificio, plateados y bruñidos, y todo falso, siendo pues estos materiales el invento con que empobrecen a nuestra España, la vieja, la nueva y todas las Indias. Hacen muy bien de proteger a sus inventores. Yo les alabo el gusto, pues con esto ellas se engrandecen y nosotros nos disminuimos. Si todos los caudales empleados en estas fruslerías los empleásemos en la propagación y cultivo de nuestras minas, qué asombroso y qué temible sería la potencia española de nuestro católico monarca que Dios le guarde.³⁸

La tentativa de Gil resultó infructuosa ya que, a pesar del apoyo inicial que le brindó Revillagigedo, quien siguió de cerca sus progresos durante 1791 (visto el fracaso que para esas fechas ya se había experimentado con el método de Börn no resulta extraño que el virrey abrigara algunas esperanzas respecto de la variante de Gil), el dictamen del Tribunal no resultó totalmente favorable. Un documento anónimo que permanece anexo a los manuscritos que aquí estudiamos porta el título de *Reflexiones sobre la obra de minería que pretende imprimir don José Rivera*.³⁹ Consiste básicamente en una censura de las teorías químicas y físicas con que Ribera quiso ilustrar en forma teórica el funcionamiento de la "máquina de barril", que, en realidad, no hacían sino poner en entredicho el invento. El dictaminador, a pesar de aprobar el "beneficio nuevo" ideado por Gil por ser claro el ahorro en tiempo y mano de obra y por producir un mayor rendimiento en plata y en azogue re-

³⁸ Gil Barragán, pp. 31-33.

³⁹ En las primeras páginas de su obra Ribera hace un elogio de Velázquez de León, "padre de las ciencias", y de Lassaga, "político estadista", así como de Carlos III por su decisión de crear el Real Tribunal de Minería, al cual llama "centro a donde corren los raudales de oro y plata que salen de nuestras minas..., fuente originaria de donde salen las copiosas corrientes de sus providencias a regar la tierra seca de los mineros necesitados". A pesar de esto el dictamen no le fue favorable.

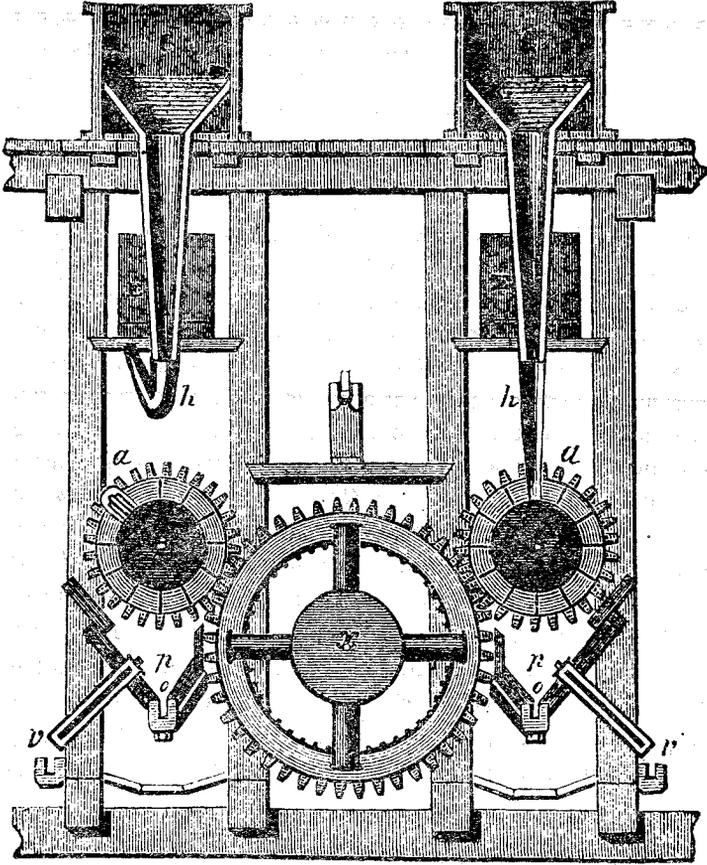


FIGURA 4. Barriles de amalgamación: corte seccional.

cuperado, afirmó que las teorías químicas que lo sustentaban eran poco convincentes y que, lejos de favorecer al inventor, “enervan o debilitan la obra principal de Barragán, exponiéndola a la crítica de los facultativos y aun de los que no lo son”. A pesar de ello recomendaba publicarla ampliando las descripciones de cómo operaba, ya que estimaba que podía ser útil a los mineros que deseaban rehabilitar minas abandonadas por incosteables, pues se había demostrado que con esa máquina podían beneficiarse provechosamente menas pobres. Pese a todo la obra no se imprimió y Revillagigedo conservó para sí el documento, acaso porque le atribuyó, justificadamente, un cierto valor científico. Al cesar su gestión lo llevó consigo a España junto con los demás volúmenes manuscritos, bellamente encuadernados, que había logrado reunir en su biblioteca.⁴⁰

II

LAS OBRAS METALÚRGICAS de Ribera y Gil Barragán tienen tres aspectos correlativos, íntimamente ligados entre sí. El primero es el aspecto teórico que fundamenta científicamente el invento de la “máquina de barril”. El segundo es el técnico, es decir, el referente a su funcionamiento, capacidad y tiempo de operación. El tercero es el económico y concierne a los rendimientos, costos y utilidades que generaba. La base científica del invento esclarecía su manera de

⁴⁰ Uno de los aspectos interesantes y menos conocidos de la vida de este virrey es el concerniente a su biblioteca, ya que logró reunir una valiosa colección de manuscritos científicos novohispanos. En fechas recientes 37 de estos volúmenes salieron a la venta. Algunos de ellos contienen diarios de los viajes al Pacífico norte que se llevaron a cabo en el último tercio del siglo xviii. Otros versan sobre diversos asuntos científicos (como los de Ribera y Gil) y fueron elaborados por algunos de los más relevantes hombres de ciencia con los que Revillagigedo tuvo relación. Estos manuscritos fueron en la mayoría de las ocasiones preparados por estos sabios a solicitud del virrey, quien los conservó encuadernados en su biblioteca.

funcionar y su costeabilidad; de ahí que al estar debidamente fundamentados los procesos químicos que se llevaban a efecto podía lograrse una cuantificación más precisa y menos dispendiosa de los ingredientes y reactivos necesarios, con el consecuente ahorro en costos. A dichas obras las anima, pues, un deseo de alejarse de los procedimientos puramente empíricos que caracterizaban al método usual de "patio". Ambas intentaron mostrar que desde los puntos de vista científico, técnico y económico el invento operaba ventajosamente respecto de ese último método y era capaz de funcionar dentro de las limitaciones que le imponían las circunstancias del trabajo minero novohispano. Analizaremos por separado cada uno de esos tres aspectos.

A. Aspecto teórico: el fundamento científico

La *Idea sucinta de metalurgia* es un claro ejemplo de la idea que los científicos ilustrados tenían de la "ciencia aplicada", a la cual concebían como un conjunto de prácticas conectadas directamente e interpretadas por los conceptos de la "ciencia pura". Pocas son las técnicas de producción, aun las más empíricas, que no fueron en algún momento objeto de un cierto número de interpretaciones científicas tendientes a dilucidar, dentro de presupuestos teóricos más o menos modernos, la manera en que se llevaban a efecto los procesos productivos. Y es que dichos presupuestos teóricos fundamentaban en buena medida el aspecto económico ya que mostraban que los procedimientos podían mejorarse recortando los costos de operación y en consecuencia aumentando las utilidades. Su ciencia, por teórica que haya sido, tuvo casi siempre una finalidad pragmática y pocas veces fue puramente especulativa.

A principios del siglo XIX Humboldt afirmó que los mineros mexicanos desconocían la naturaleza y el comportamiento de las sustancias utilizadas en el proceso de amalgamación y que por tanto eran incapaces de determinar el tipo de reacciones químicas que se efectuaban. Aunque

la crítica no era del todo exacta, ya que Garcés y Eguía había intentado dilucidar los procesos químicos que ahí se verificaban, en general la apreciación de Humboldt era justa. Además, este mismo parecer ya había sido externado una decena de años antes por el sabio Pineda en su visita a los reales mineros, cuando afirmó que los beneficiadores y metalurgistas estaban “destituídos de los principios y teorías de la química, que deberían saber”.⁴¹ Sin embargo una diferenciación es pertinente. La química a que Humboldt y Pineda hacían alusión era la que todavía no había recibido el hálito renovador de las teorías de Lavoisier, es decir, la de los iatroquímicos y, sobre todo, en lo referente a los procesos de combustión, la de los adeptos a la teoría del flogisto. La química moderna penetró en México en el último decenio del siglo XVIII,⁴² y de ahí que sea lógico que los viejos metalurgistas como Ribera Sánchez sostuvieran todavía en 1792 teorías que a los ojos de algu-

⁴¹ Antonio de Pineda: “Método de beneficiar los metales en Taxco”, en AMNM, MS. 562, f. 99v. En 1789 Elhuyar, en sus *Reflexiones*, había sostenido un punto de vista semejante.

⁴² Es hacia 1793 cuando podemos datar con cierta precisión la introducción de las nuevas teorías químicas en México. Fue ese el año en que se pronunció la notable “Oración” de apertura al curso de botánica compuesta por Vicente Cervantes. Ahí se hacía ya mención de las experiencias de Priestley, Hales, Chaptal e Ingenhouz y se hablaba del anhídrido carbónico, del oxígeno y del nitrógeno como gases diferenciados. Se exponían las experiencias de Cavendish acerca de los dos elementos que componen el agua, el hidrógeno y el oxígeno, y se atribuían a este último las propiedades de oxidación y, como entonces se creía erróneamente, de formar todos los ácidos. Cervantes y sus discípulos ya conocían el *Traité elementaire de chimie* (1789) de Lavoisier, y aplicaban normalmente los términos de la nueva nomenclatura química. Podían clasificar ácidos, bases y sales. Conocían además las reacciones que se podían realizar con ellos. Habían eliminado además el concepto de “flogisto”. *Vid.* ALZATE, 1831, III, pp. 161ss. Aunque en 1791 Pineda hizo precisas descripciones químicas, de corte también moderno, al interpretar el proceso de amalgamación, sus obras quedaron manuscritas. Por lo demás, cabe decir que Alzate, Bartolache y Montaña en algunos aspectos todavía sostenían tesis químicas periclitadas y empleaban un lenguaje químico obsoleto.

nos de sus contemporáneos parecían ya obsoletas. Recuérdese que el dictaminador del Real Tribunal de Minería aseguraba que su obra en “lo físico y metalúrgico” tenía “no pocas equivocaciones”. Veamos en qué se fundamentaba esta crítica.

La exposición de Ribera Sánchez se inicia con la descripción del primitivo beneficio de “patio” inventado por Bartolomé de Medina y las sucesivas modificaciones que sufrió. Algunas de las noticias que proporciona son interesantes:

Me acuerdo haber leído en mis primeros años un manuscrito de el año de 1535,⁴³ fecha en que Bartolomé de Medina descubrió el beneficio de azogue sin más ingrediente que la sal, cuyo beneficio tardaba cuasi de flota a flota en que hacían sus despachos. Después por un acaso descubrieron el magistral. No me acuerdo si fueron el capitán don Pedro Almaraz y su azoguero, o fueron otros. El caso es que, habiendo quemado metal de cobre en polvo con cierta cantidad de sal, después de bien quemado lo mojaron y le echaron azogue, el que inmediatamente se sublimó, y perdieron la esperanza, quedando aquel material por inútil hasta que con la ocasión de tenerlo en casa usaron de él por vía de experimento en otros montones que no querían entrar en beneficio. Encontraron novedad y se hicieron ricos, quedando establecido hasta nuestros días que lo componemos de dos tantos de metal de cobre y uno de sal, y después de bien incorporado se quema en el horno hasta el grado que le reconoce el azoguero para usar de él.⁴⁴

Afirmaba Ribera que los metalurgistas alemanes poco añadieron de novedoso a este viejo proceso y que nada enseñaron respecto de su técnica que no se supiera desde muchos años antes en las minas novohispanas. Sus conoci-

⁴³ Este dato es inexacto ya que las primeras experiencias de Medina pueden datarse hacia 1555. *Vid.* ZAVALA, 1962, pp. 416-421; MUÑOZ, 1964, pp. 517-531; BARGALLÓ, 1969, pp. 55-59.

⁴⁴ Ribera Sánchez, pp. 10-11. No deja de ser interesante su afirmación de que tuvo en sus manos y leyó un manuscrito meta-

mientos acerca de las diversas etapas seguidas en el beneficio de "patio" le permitieron disertar con cierta amplitud acerca de la acción de los diversos ingredientes que se iban añadiendo a la mena. Conocía la acción de la sal y la posibilidad de recuperar parte de la misma después de finalizar el proceso. Atribuía al magistral un enorme efecto en la marcha del beneficio, hasta el punto de que, sin él, éste resultaría imposible de realizar. He aquí la descripción que hizo de esta substancia:

Se compone, pues, como decimos, de metal de cobre. Éste por naturaleza es metal ígneo, esto es, *caliente y reseco*. Lo domina el azufre en su esencia, y en sus accidentes la alcaparrosa, de que abunda a las vueltas o superficie de él. Pues como los espíritus vitriólicos de la alcaparrosa son precisamente ácidos corrosivos salíneos, se disuelven en el agua y se decrepitan en el fuego, esto es, se refinan y se aumentan, y a el favor de los espíritus sulfúreos de el azufre que vienen con aquéllos hacen maridaje entre ambos espíritus en el acto mismo de la quema. Esto es, a el favor de el fuego material arden los azufres y por consiguiente la alcaparrosa que va con él, de que resulta un cuerpo material absorbente que se impregna o llena de fuego material todo el tiempo que dura la quema, y luego que sale de el horno pierde la *material virtud de el fuego*, y le quedan los espíritus de el azufre todo el tiempo que se mantiene seco; pero luego que le toca la humedad o le cae la agua se disuelve la alcaparrosa desatándose las partículas de el material en cuyo acto resulta

lúrgico de 1535 que describía el beneficio y mencionaba a su inventor (a pesar de que esa fecha es obviamente errónea). No obstante lo cual es obvio que muchas de las noticias históricas que disemina a lo largo de su obra están tomadas directamente del *Memorial* de Díaz de la Calle, del *Arte de los metales* de Barba y de los *Comentarios* de Gamboa. La atribución a Pedro Almaraz de la introducción del magistral cobrizo en el proceso es novedosa. Es sabido, por otra parte, que debió de empezar a aplicarse en el beneficio hacia finales del siglo xvi, ya que los primeros autores que describen el proceso no hacen alusión de este nuevo ingrediente. Para una sucinta descripción de las etapas del beneficio de "patio", vid. BARGALLÓ, 1969, pp. 445-448.

la efervencia o exaltación que se verifica en el rescoldo cuando le echamos agua, que no tiene fuego material pero que aún conserva los espíritus de el fuego que lo calentaron.⁴⁵

Conocía el efecto del *tequesquite* en el beneficio por fundición y la acción de la ceniza y la cal en el de amalgama.⁴⁶ Sin embargo es al mercurio al que dedicó la mayor parte de su descripción del proceso químico, por ser el ingrediente fundamental. Al efecto dijo:

...no me parece mal llamarle a el azogue la agua de los metales o el imán de todos ellos, que así como aquella piedra mineral se mantiene con el fierro, éste con todos, por *natural propensión contraída de su origen como medio mineral el más noble*, cuyos efectos son los más interesantes. Su naturaleza la más clásica. El ambiente lo empaña. *La precipitación mas leve lo subdivide en infinitas particulas esféricas*. Puesto a el fuego se convierte en humo y se volatiliza, pero si topa con la agua o la humedad se incorpora con nuevos resplandores de su origen; por lo que me parece el títere de los químicos que diariamente juegan con él haciendo sus trasmutaciones de rubros, solimán y otras composiciones útiles a la humana salud.⁴⁷

Tanto la descripción del magistral como ésta del mercurio arrojan suficiente luz sobre las ideas químicas de Ribera, adicto todavía a fines del siglo xviii a las teorías iatroquímicas de Paracelso y creyente en sus tres principios espagíricos.⁴⁸ Mucha de la literatura químico-metalúrgica de

⁴⁵ Ribera Sánchez, pp. 11-12. Las cursivas son nuestras.

⁴⁶ Ribera Sánchez, p. 9. Es interesante su referencia al *tequesquite* antes de que apareciera impresa la obra de Garcés: "Las otras sales, —escribe— esto es, las alcalinas de el tequesquite, los vegetales y todos los cuerpos lexicinosos, tienen la misma virtud de limpiar la plata, disolviéndole los malos humores de los medios minerales". Se refiere a la acción del carbonato y bicarbonato de sodio que forman sosa en presencia de bases fuertes como el $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

⁴⁷ Ribera Sánchez, pp. 7-8. Las cursivas son nuestras.

⁴⁸ PARTIGTON, 1960, pp. 41-89.

la Nueva España estuvo fuertemente influida por dichos conceptos, lo que impidió que se llegara a una mejor interpretación de los procesos reales que se llevaban a cabo en el beneficio de la plata. Para Ribera, como para otros de sus contemporáneos, el azufre determinaba la inflamabilidad y la mutabilidad química de los cuerpos, el mercurio la unión entre ellos, y la sal la estabilidad y la resistencia al fuego. Estos tres principios sobrevivieron hasta fines del siglo xviii, en que apareció y fue conocida y traducida en México la obra de Lavoisier, con lo que se abrió la puerta a una nueva interpretación no sólo cualitativa sino también cuantitativa.⁴⁹ Pero nuestro metalurgista todavía acudía a los conceptos anteriores, tales como los de "simpatía y antipatía" y de "frío, caliente, húmedo y seco". Desconocía el concepto de "afinidad" y el de "reacción"; de ahí que pudiera atribuirles esas facultades de combinarse, múltiples y casi milagrosas, al mercurio y al magistral. La idea de "compuesto químico" como diferenciado de una simple "mezcla mecánica" de dos substancias no aparecía en sus escritos, lo que le permitía hablar de "transmutaciones" y "sublimaciones", hecho que le imprime un fuerte tono alquimista a su obra, saturada como está de concepciones arcaicas. Mas aún, su idea de la combustión se enmarcaba dentro de los presupuestos de la teoría del flogisto, al que aludió expresamente en varias ocasiones,⁵⁰ lo que le llevó a concebir al fuego como una materia capaz de introducirse en los cuerpos combustibles, de tal manera que la combustión resultaba ser un simple proceso de descomposición acompañada de la pérdida de una substancia (el

⁴⁹ Ribera parece desconocer la noción de ("elemento" propuesta por Robert Boyle hacía más de cien años, a pesar de que otros autores novohispanos ya habían aludido a este concepto unos cincuenta años antes. Sin embargo sus teorías acerca de la combustión y de la calcinación de los metales (y en particular su adhesión a la teoría del flogisto) sí hallan su origen en las teorías del químico inglés.

⁵⁰ Ribera Sánchez, p. 4, 14-15, 31-32.

flogisto) y no una combinación que entrañara la ganancia de materia.⁵¹

A pesar de todo lo anterior, Ribera, como muchos de nuestros científicos ilustrados, no dudó en hacer entusiastas elogios de la ciencia moderna y de su soporte, el método experimental, a la par que afirmaba la tesis de no aceptar nunca lo no comprobado o lo que no hubiera sido tamizado por la crítica.⁵² Esta situación, por paradójica que parezca, se dio a menudo entre nuestros científicos de la segunda mitad del siglo XVIII que proclamaban su fe en la ciencia moderna y en sus métodos mientras sustentaban teorías ya periclitadas, que de haber sido sometidas a las experiencias de laboratorio que ellos propugnaban hubieran mostrado su inoperancia, pero que, por otra parte y desde el punto de vista de la "ciencia aplicada" (o sea en la práctica productiva en gran escala como era el caso de la metalurgia de la plata) operaban ventajosamente siguiendo las técnicas ancestrales. Además, por los precisos conocimientos empíricos que dichos científicos, tales como Ribera, poseían en referencia por ejemplo a los volúmenes de los reactivos que era necesario utilizar para obtener rendimientos óptimos, se diría que sus teorías, por antiguas que fuesen, eran las co-

⁵¹ Por extraño que pueda parecer, el estudio de la introducción de la química moderna en México puede ser un índice adecuado para conocer hasta qué punto las teorías de la mecánica newtoniana habían sido aceptadas. En efecto, el hecho de que un científico como Ribera (o incluso como Alzate) aceptaran la hipótesis de que existe un cuerpo o substancia (el flogisto) *totalmente ligero*, es decir *despojados de peso y cuya pérdida paradójicamente hacía más pesados a los cuerpos* (como ocurría en la calcinación de los metales) iba en manifiesta oposición a las teorías mecanicistas, cuyo carácter cuantitativo aplicado a la química permitió afirmar que si en la calcinación los metales ganaban peso era porque se combinaban con otro cuerpo y no porque perdían un elemento imponderable no sujeto a las leyes de la mecánica gravitacional. En el estudio de la difusión de la ciencia moderna de México parece necesario relacionar ambas teorías a efecto de lograr una mejor comprensión de su mutua dependencia.

⁵² Ribera Sánchez, pp. 1-3.

rectas y no las nuevas interpretaciones químicas que llevadas a la práctica no daban resultados tan satisfactorios. Nada propició más la pervivencia del método de "patio" a la vez que desalentó los estudios de química teórica acerca del mismo que la concluyente e ilustrativa afirmación hecha por el mismo Ribera, quien expresó lacónicamente: "La naturaleza misma nos ha enseñado la docimasia metódica del azogue".⁵³ Sin embargo, como ya vimos, fue por el hecho de dar una interpretación teórica errónea (por arcaica) que el censor del Tribunal rechazó la obra de Ribera, aunque recomendara el invento de Gil. De haber podido este último anexar una interpretación química más moderna es indudable que su obra hubiese sido aprobada y acaso inclusive impresa como estaba previsto. Pero no fue así. Ahora bien, esta descripción moderna del proceso químico que nunca pudo ser hecha por Ribera la llevó a cabo, como ya dijimos, Antonio de Pineda durante su viaje por los reales mineros de la Nueva España.⁵⁴ Ésta hubiera sido sin duda la introducción teórica adecuada a la obra de Gil. En ella Pineda recorrió las etapas del procedimiento de amalgamación y de fundición y expuso las reacciones químicas que supuso se verificaban en ellos, adelantándose en más de diez años a los trabajos sobre este asunto de Sonneschmidt y de Humboldt.⁵⁵ Asimismo, se percató del enorme ahorro que representaba el invento de Gil al eliminar varios de los pasos intermedios, y observó que el proceso de transformación en el barril de la mena de plata en cloruro se aceleraba

⁵³ Ribera Sánchez, p. 17.

⁵⁴ Antonio de Pineda: "Método de beneficiar los metales en Taxco", en AMNM, MS. 562, ff. 99r-101v; "Método de beneficiar por fuego en el Real del Monte", en AMNM, MS. 562, ff. 101v-101v bis; "Método de beneficiar los metales por el fuego en Zimapán", en AMNM, MS. 562, ff. 101v bis-103r. *Vid. supra*, nota 32.

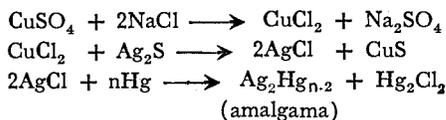
⁵⁵ Pineda, quien cita entre otros a Priestley y a Lavoisier, concuerda en señalar que la mena de plata reacciona con sal y el magistral en presencia del mercurio para formar la amalgama, dando sulfuro de cobre y sulfato de cobre como subproductos. Bargalló ha dilucidado este proceso de la siguiente forma:

enormemente al utilizar el hierro como catalizador, lo que propiciaba a su vez la formación más rápida de la amalgama. En suma, la sanción teórica de la efectividad del invento de Gil la dio esta interpretación del proceso de amalgamación tal como se realizaba en Real del Monte en las fechas en que los mineros alemanes intentaban introducir en otros sitios el método de Börn. Analicemos ahora en qué consistía dicho invento y su forma de operar.

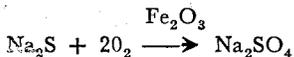
B. Aspecto técnico: el funcionamiento

Al iniciar la descripción de su "nuevo invento" Gil Barragán refirió cómo llegaron a Real del Monte los informes acerca del método de Börn e hizo una sucinta evaluación sobre el mismo:

Llegaron a este real las noticias que corrían por el mundo de aquel invento que descubrió el conde de Worne en los dominios de Alemania, y se reduce a poner la masa mineral dentro de barriles puestos en tal arte que pudiesen dar vueltas, con cuyo



P. J. Bakewell duda de este cuerpo de reacciones, ya que piensa que el magistral es sulfuro de cobre o cúprico (Cu_2S) (en realidad se trataría en todo caso de sulfuro cuproso y no cúprico como afirma erróneamente), en vez del sulfato (CuSO_4) como dice Bargalló. Sin embargo Bakewell no se percató de que para los efectos de la reacción la acción del sulfuro sobre la sal produce CuCl_2 , del mismo modo que si se utilizara CuSO_4 como reactivo. El subproducto puede ser Na_2S o Na_2SO_4 , aunque es obvio que en ciertas condiciones el primero podría sufrir un proceso de oxidación para transformarse en sulfato:



BARGALLÓ, 1955b, pp. 194-195. BAKEWELL, 1971, p. 144. n.1. En la traducción española de esta obra se llega incluso a confundir los sulfuros con los sulfitos en la descripción de estas reacciones.

movimiento consiguió cierta revolución que asimilase remotamente la fricación de los repasos. Bien conoció el de Worne que sin la fricación no se podía verificar la separación de la plata, al mismo tiempo que tropezando el mercurio con ella uniesen entre ambos.⁵⁶

Como ya dijimos la difusión del método del barón alemán fue amplia, ya que inclusive se hicieron circular manuscritas diversas copias que explicaban su funcionamiento.⁵⁷ A Gil le facilitó una de dichas copias José Belio, minero de Real del Monte, quien la había recibido de Sebastián de Eguía en la ciudad de México. Después de haberlo estudiado Gil se percató tanto de su importancia como de sus limitaciones, las cuales quedaron reseñadas en los siguientes términos:

... habiendo leído y reflexado conoció altamente que el espíritu y método de Worne se dirige precisamente a sacar plata por medio de aquél su invento, pero que no reflexó para establecerlo por mayor sobre un beneficio vasto y capaz de rendir infinito número de quintales como los que se benefician anualmente en este reino. Debía haber proyectado máquinas simples, multiplicativas, de pocos costos, fáciles y proporcionadas a todos los reales comprendidos en el mundo, de modo que cualquier carpintero las pudiese construir para el provecho de todos.⁵⁸

Así, con el propósito de adaptar este valioso invento a las necesidades de la Nueva España, Gil decidió aprovechar algunas innovaciones del método de Börn y desechar otras, aquéllas que aquí resultaban impracticables y que fueron la causa del fracaso de dicha técnica. Gil eliminó la tostación previa de la mena, que era un obstáculo insuperable en los reales mineros escasos de combustible; es decir, conservó el procedimiento "en frío" que caracterizaba al método tradicional novohispano de amalgamación.⁵⁹ Sugirió en cambio

⁵⁶ Gil Barragán, pp. 1-2. *Vid. supra*, nota 34.

⁵⁷ *Vid. supra*, nota 34.

⁵⁸ Gil Barragán, p. 3.

⁵⁹ *Vid. supra*, nota 30.

continuar con la trituración de los minerales como paso previo a la "fricación", es decir, al tratamiento químico por agitación de la mena con los reactivos. En realidad la base del invento de Börn, o sea el poner en contacto permanente e intensivo las substancias que intervenían en el proceso de amalgamación, con lo que estimulaba catalíticamente las reacciones, fue aprovechado íntegramente por Gil, quien conservó las tres etapas establecidas por el barón alemán, a saber: mezclar, revolver y "fricar" (que tiene la acepción de friccionar activamente unos contra otros los materiales del proceso) los minerales en un nuevo aparato menos costoso y más funcional. El sistema de Gil, como el de Börn, sintetizaba en uno de los seis pasos intermedios del proceso, es decir: ensalmoreado, curtido, incorporo, repasos, cebados y rendido, conservando sólo la molienda previa y el lavado final.⁶⁰

La máquina original ideada por Gil, que sufrió posteriormente varias modificaciones, utilizaba un barril que rotaba por medio de un malacate acoplado. Una sucinta descripción de este primitivo arbitrio y de su funcionamiento y rendimiento aparece en el manuscrito en los siguientes términos:

Luego que vio el inventor la pella por medio de una operación tan simple de sólo metal, azogue y sal se determinó a seguir los experimentos con más formalidad, y para su efecto se le presentó a la imaginativa el malacate de nuestras minas, máquina que se compone (hablando en los términos comunes de nuestro uso) de largueros, barrotes, crucetas, medianillos, peón, algualdra, esteos, etc. Esta invencible máquina, simple en su espíritu y compuesta en su modo, le sirvió de modelo para formar un malacatillo pequeño, pero compuesto de todas sus partes. Tomó un barril común de caldos, pusde [*sic*], un tejuelo o punto de apoyo en el centro de el fondo, donde afirmó el güijo de el peoncillo, en cuya extremidad centro superior de él le puso una manezuela para moverlo, y probó su movimiento con acierto de

⁶⁰ GARCÉS Y EGUÍA, 1802, pp. 83ss; SONNESCHMIDT, 1825, pp. 1-51; GAMBOA, 1874, pp. 250-267; HUMBOLDT, 1941, ni, pp. 272-288; PHILIPS, 1867, pp. 321-358 (analiza las reacciones del proceso).

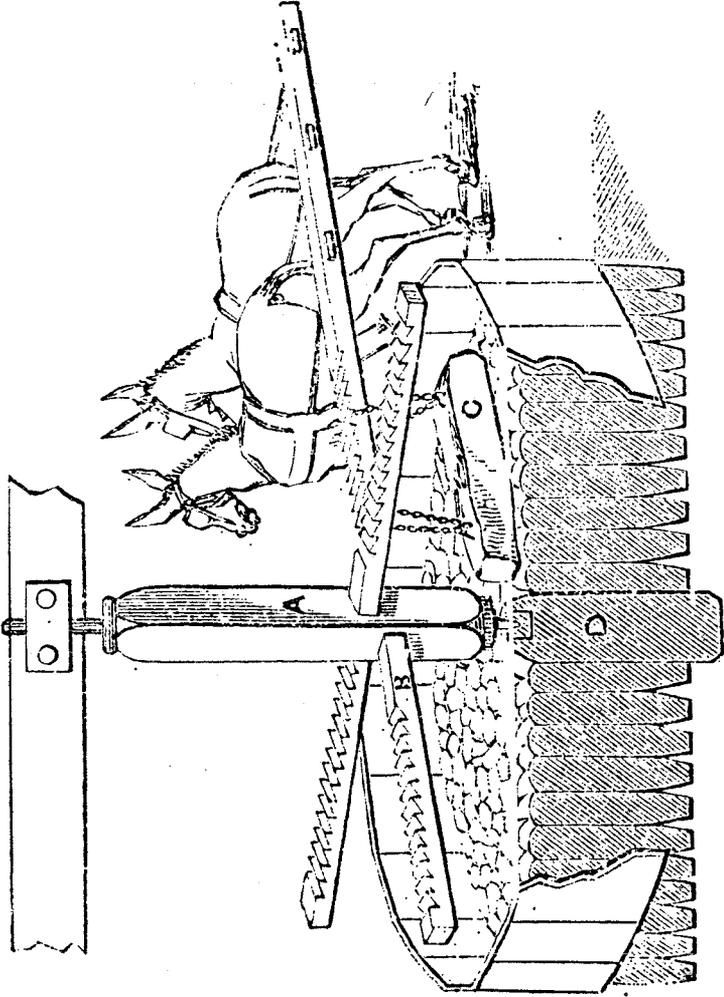


FIGURA 5. Arrastre.

sus pensamientos. Construida y probada esta máquina procedió a los ensayos bajo las reglas y preceptos de la física experimental que no deja duda en todos los ramos que comprende, por lo que, queriéndose imponer de el tiempo, de el gasto y ley de los metales, pesó a fiel de balanza dos arrobas de metal y dos libras de sal común, mojó las dos cantidades hasta dejarlas en torno de caldo espeso, cuya materia la echó en su barril, y con la muestra en la mano, para apuntar la hora en que comenzó a flotar su malacatillo, cuyo movimiento siguió sin parar hasta las veinte horas, que pesó dos arrobas de azogue que le incorporó a su metal. Siguió la operación de el movimiento con azogue hasta las cuatro horas cabales, que lavó su ensaye y le resultaron cinco onzas de plata pella bien exprimida que corresponden a dos onzas por quintal de un metal que, por el beneficio común, le estaban sacando a onza y media.⁶¹

Gil dio aviso de su invento, con lo que varios mineros del área donde trabajaba le presentaron muestras de metales de diferentes leyes con las que realizó pruebas que resultaron también positivas. Esto lo llevó a construir una máquina de rotación con malacates de mayores dimensiones, Éste es el relato de cómo lo llevó a efecto:

Acopió maderas, llamó carpinteros y formó su primera máquina grande, conformándose con el espíritu de el rodaje y componiéndola de una rueda corona, dos catarinas y un piñón, siendo la corona la rueda grande motora de la primera catarina, y ésta de la segunda, la que engranó con el piñón que puso a el peón de el malacate, formado en la misma perfección de el que experimentó en el barril a distinción de mayor tamaño, de modo que llenase todo el diámetro de la tina, que fue de vara y media y dos de alto. A el peón de la rueda corona le puso su espeque, correspondiente a su radio, en cuya extremidad o punta afirmó las tiraderas de la bestia que hizo tiro para mover la máquina, compuesta de las demás partes de ella como son esteos, algaldra, cruces, etc. Igualmente la tina bien ensamblada, cinchada con cinchos de fierro y puesta sobre su baza firme, para que pudiese recibir lo menos treinta quintales de metal, con más el grave del

⁶¹ Gil Barragán, pp. 5-7.

azogue. Acabada a toda perfección la máquina probó su movimiento y tuvo notables efectos la velocidad de el malacate, tan rápido, que fijando la vista en él se perdía, nublándose a el parecer.⁶²

En las pruebas preliminares llevadas a cabo con esta máquina Gil se percató del problema que representaba hacer rotar esa enorme masa mineral a base de un sistema de malacates. La fuerza motriz y animal resultaba insuficiente, además de que las ruedas catarinas y los piñones se forzaban grandemente tanto por el peso del mineral como por el sistema de transmisión motriz empleado.⁶³ Todo esto lo llevó a diseñar un nuevo modelo y para construirlo contrató los servicios de un diestro carpintero de Atotonilco el Grande y arrendó una hacienda de "rastras o tahonas" abandonada, donde llevó a cabo sus experimentos.

La nueva "tina de molinetes", como su autor la llamó, constaba de una serie de aspas en cruceta que rotaban dentro de una tinaja cilíndrica de aproximadamente 1.3 metros de diámetro por uno de altura, donde se introducía la mena y los reactivos con suficiente agua. El sistema podía conectarse en series de ocho, doce y veinticuatro tinajas movidas, gracias a un ingenioso sistema de transmisión, por uno o dos caballos únicamente, aunque había sido también concebida para ser usada en reales mineros que dispusiesen de fuerza hidráulica. En este último caso se podía incluso emplear un regulador de velocidad, que era una especie de reductor acoplado al eje de transmisión, colocado horizontalmente.⁶⁴ Cada tina tenía capacidad para quince quintales, de tal

⁶² Gil Barragán, pp. 8-10.

⁶³ Gil Barragán, pp. 10-11.

⁶⁴ Gil Barragán, pp. 11-15. Gil pensaba que el sistema de tracción animal podía utilizarse en Zacatecas, Guanajuato, Fresnillo, Potosí, Catorce y Mazapil, mientras que el sistema hidráulico podría adoptarse en los "reales del sur": Temascaltepec, Taxco, Tempantitlán, Zacualpan y Tlalpujahua. Este sistema podría ser utilizado también en el distrito minero de Pachuca.

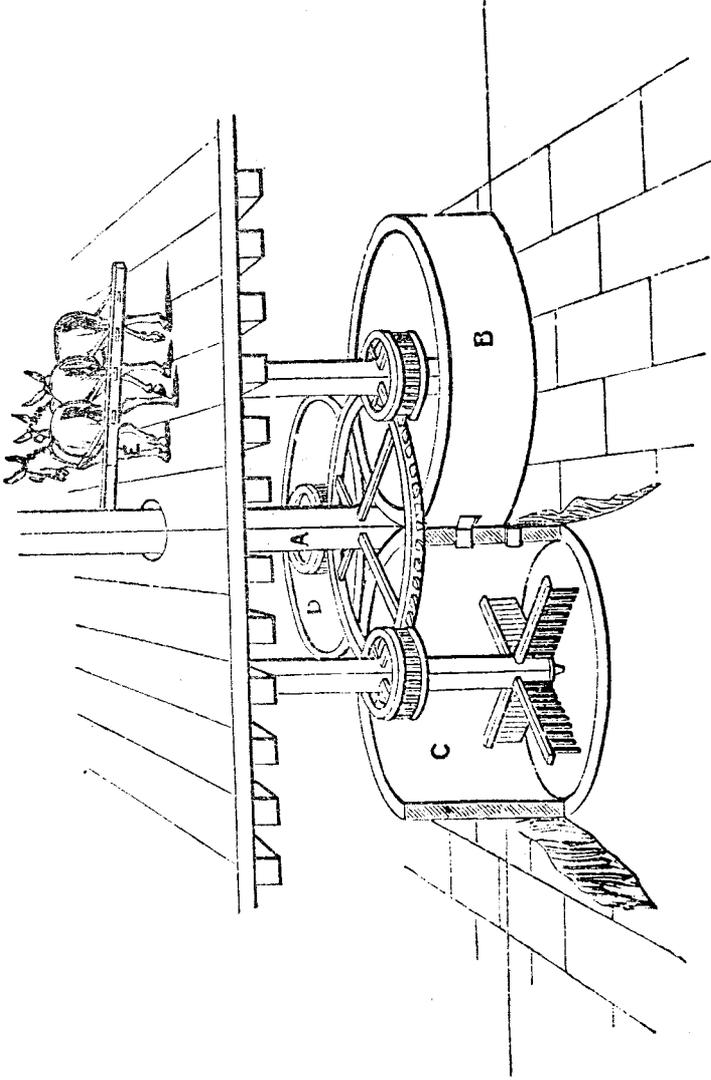


FIGURA 6. Dibujo de la máquina de amalgamación modificada de Gil Barragán.

manera que en una serie de doce podían beneficiarse unos nueve mil kilogramos de mineral, es decir unos seis “montones”, utilizando un solo caballo en la tracción y en un lapso máximo de treinta horas. La sencillez del diseño y la simplicidad de su operación eran notables. Ribera calculó que si el eje central de la transmisión giraba a un ritmo de unas veinte vueltas por minuto, los molinetes darían 14 400 vueltas por hora por el sistema de transmisión ideado por Gil, aumentando considerablemente la “fricción” de los minerales y los reactivos, hasta un grado inimaginable dentro del sistema tradicional de “repasos”.⁶⁵ Por otro lado, varias eran las circunstancias que podían acelerar el proceso de la amalgamación a efecto de reducir hasta en diez horas el tiempo de operación continua. Una era el uso de los catalizadores habituales, administrados después de iniciado el proceso, y el otro era el uso del calor. Ribera observó que el aumento en la temperatura ayudaba a acelerar el procedimiento de amalgamación dentro de las tinajas, lo que permitía también beneficiar menas de bajo contenido argentífero e incluso de otros metales incluido el oro.

Varios expertos que la vieron trabajar, entre los que estaba Cristóbal Mendoza, de quien se nos dice que era “instruido en las ciencias de física, maquinaria y los demás ramos de las matemáticas”, afirmaron que podía funcionar en serie con facilidad.⁶⁶ Otros, como Pineda, aseguraron no haber visto una máquina semejante tanto por su sencillez de funcionamiento como por sus rendimientos.⁶⁷ Este sabio esbozó un croquis del aparato de Gil y lo envió a España junto con los muchos otros dibujos y diagramas que reunió

⁶⁵ Gil Barragán, pp. 20-21.

⁶⁶ Gil Barragán, p. 17.

⁶⁷ Gil Barragán, p. 16. Pineda había viajado por Perú y había sido testigo del fracaso de las tentativas de Nordenflycht. Le sorprendió el ver que la variante de Gil a base de molinetes, que “no encuentran resistencia en los metales por estar fluidos y porque se mueven sobre un punto fijo con toda libertad”, sí operaba, siendo como era básicamente igual a la máquina propuesta por Börn.

en su viaje americano.⁶⁸ Las pruebas realizadas poco tiempo después por Ribera y los comisionados no hicieron sino confirmar estos pareceres.

C. *Aspecto económico: rendimientos, costos y utilidades*

El jueves 25 de agosto de 1791 Ribera comenzó oficialmente los experimentos ordenados por Revillagigedo para probar la efectividad del invento. El día 29 se le entregaron a Gil cuatro "montones" de mineral provenientes de diversos reales mineros y de los cuales Ribera conservó la mitad exacta de cada uno a efecto de procesarlos paralelamente por el viejo método, lo que hizo que las pruebas duraran casi tres meses ya que los primeros incorporos, que se realizaron con el mineral tratado a la manera tradicional, no se hicieron hasta el 7 de septiembre y los últimos lavados hasta el 22 de noviembre. Pese a que la primera prueba hecha por Gil fracasó, pues los molinetes sufrieron un desperfecto, los siguientes ensayos si se llevaron a cabo satisfactoriamente no obstante que los minerales ensayados no eran de buena ley.⁶⁹

Gil era consciente de que el único argumento válido para probar la efectividad de su invento eran las experiencias cuantitativas que mostraran sus ventajas en el ahorro de materias primas y de tiempo así como en los volúmenes de plata obtenidos. Para demostrar esto había que comparar los rendimientos y el tiempo de operación empleado tanto por su método como por el método de "patio" en sendas pruebas

⁶⁸ Pineda en sus viajes realizó múltiples esquemas y dibujos de todo lo que le parecía de interés dentro de la botánica, la zoología, la geología, la metalurgia, etc., aunque algunos de ellos no pasan de ser menos esbozos. *Vid.* AGNM, *Historia*, vol. 277, ff. 180-181. Entre las relaciones de planos y dibujos que ahí se describen se da noticia de "trece láminas de diversas vistas y planos de máquinas de la expedición de Pineda a Guanajuato", que acaso contuvieran el croquis del aparato de Gil. El documento está datado en mayo de 1792, o sea unos nueve meses después de su visita a Real del Monte.

⁶⁹ Gil Barragán, pp. 31-38.

realizadas sobre iguales volúmenes de un mismo tipo de mineral. Varios eran los renglones que había que cuantificar, a saber: tiempo ahorrado al eliminar las seis etapas intermedias del proceso de "patio", ahorro en mano de obra en la sustitución de los repasos, ahorro en sal, magistral y azogue, y por último valor de la plata obtenida.

Los resultados que obtuvo fueron los siguientes. Por el método de "patio" fueron gastados veinticinco pesos con dos reales y medio en los repasos realizados en los cuatro montones de la prueba, lo que le dio un valor promedio de seis pesos con dos reales y $\frac{5}{8}$ por montón. A este valor le rebajó dos pesos con dos reales y $\frac{5}{8}$ de los gastos de operación comunes a uno y otro método (uso de fuerza animal y forraje) lo que le dio como resultado cuatro pesos netos por montón, o sea, dieciséis pesos por los cuatro montones. Este valor se ahorra íntegro en el procedimiento de Gil. Ahora bien, según este autor en los distritos mineros de Pachuca, Real del Monte, El Chico, Capula y Santa Rosa se beneficiaban cuatrocientos montones quincenales, lo que originaba un gasto, por repasos únicamente, de 3 200 pesos mensuales, es decir, 38 400 pesos anuales en sólo esos cinco reales mineros.⁷⁰ En cuanto al tiempo ahorrado, la gran diferencia existente entre las treinta horas del método de Gil y el mes y medio o dos meses del de "patio" (tiempo necesario para las seis etapas intermedias), era suficiente para acreditar como superior al primero.⁷¹ Por otra parte, la eliminación de los repasos permitía que los repasadores

⁷⁰ Gil Barragán, pp. 34-35. Algunos de los valores aquí utilizados y sus equivalencias son:

a) Equivalencias monetarias:

1 peso (duro) = 8 reales de plata

b) Equivalencias en medidas de peso:

1 marco = 8 onzas

1 quintal = 4 arrobas = 46 kgs. (aprox.)

1 quintal = 100 libras

1 montón = 30 quintales (aprox.)

⁷¹ Gil Barragán, pp. 37-38.

empleados en los patios y galeras se trasladaran a las minas, donde, según Gil, había “falta de gente operaria”:

... pues es visto en este real y en todos la escasez de ellos, y más en las minas que están en pura faena, donde no hay buscas que llaman al partido de metal cuando la mina está en bonanza, en las que sobra gente de todas castas.⁷²

En cuanto al ahorro de materias primas los resultados fueron semejantes. Por el método de “patio” se consumieron en los cuatro montones ocho arrobas con ocho libras de sal de mar, doce arrobas de sal “mexicana” y trece barriles y medio de magistral, lo cual sumaba veinte pesos con un real y tres cuartos. En cambio por el método de Gil se empleaban veinticuatro arrobas de sal de mar y dos barriles de magistral, lo que arrojaba un total de veinticinco pesos.⁷³ La diferencia en contra del nuevo invento era de cuatro pesos con seis reales y cuarto. Sin embargo existía una distinción fundamental señalada oportunamente por Gil, y era que la sal empleada en las tinas de molinetes podía reciclarse y utilizarse en otros montones de metal, mientras que las cantidades de sal utilizadas en el método de “patio” “las perdemos —dice Gil— en el mismo acto que se las ministramos a los montones, de tal manera que jamás podemos volver a usar de ellas, como que una vez disueltas en la masa común de los montones, el día de la lavada se van a el río abajo sin tener más uso de ellas y sin poderlo remediar”.⁷⁴ En cambio por el nuevo invento se extraía el agua salada de las tinas al terminar el proceso y se almace-

⁷² Gil Barragán, p. 42-43.

⁷³ Los precios unitarios utilizados son los siguientes: Una arroba de sal de mar costaba un peso, una arroba de sal mexicana costaba tres reales, un barril de magistral costaba cuatro reales, una libra de mercurio costaba cuatro reales. Ribera Sánchez, pp. 34-37. Aquí pormenoriza los costos de operación de cada uno de los cuatro montones tratados por el método de “patio”.

⁷⁴ Gil Barragán, p. 45.

naba en un tanque dispuesto al efecto, de tal forma que, después de retirado el mineral amalgamado de las tinas, se volvía a utilizar en los nuevos montones listos para ser procesados. Gil cuantificó la sal consumida y la susceptible de ser reciclada y dedujo que veinticuatro montones agotaban veinticuatro arrobas de sal marina, lo que equivalía a una arroba de sal por montón.⁷⁵ Este valor obviamente desplomaba los costos de materia prima del nuevo método respecto del tradicional, de tal forma que sólo en el renglón de la sal la diferencia a favor de la máquina de Gil era, en números redondos, de dos pesos por montón, ya que según el método de "patio" el costo de la sal ascendía a tres pesos con un real y un grano por montón, en tanto que, de acuerdo con el cómputo anterior hecho por Gil, su invento consumía sólo un peso de sal por montón gracias a los reciclados del agua salina.⁷⁶ Haciendo un cálculo similar al realizado anteriormente con los repasos, Gil estimó que cuatrocientos montones procesados quincenalmente ahorraban ochocientos pesos, o sea 1 600 pesos mensuales y 19 200 al año. En cuanto al magistral, el mismo cálculo daba figuras aún mayores, ya que la diferencia entre ambos procesos era favorable al de Gil en cinco pesos seis reales por montón, lo que representaba un ahorro anual, sobre la base de cuatrocientos montones por quincena, de 55 200 pesos.⁷⁷

El azogue también proporcionaba cifras de ahorro satisfactorias, ya que el método de "patio" consumía veintidós

⁷⁵ Gil Barragán, p. 48.

⁷⁶ La idea de reciclar el agua salina era bastante útil ya que en ella iban incorporadas en forma de solución diversas sustancias (sales de cobre y hierro) que activaban ventajosamente los sucesivos procesos. Sin embargo, el método de Gil estipulaba la adición periódica de sal a las tinas mezcladoras a efecto de compensar la sal consumida en forma de cloruros. Los peritos que calificaron a Gil, entre ellos Ribera, no ocultaron su sorpresa al ver que aprovechaba el agua salina del proceso anterior y no incorporaba más que una reducida cantidad de sal nueva para sustituir la sal consumida. Gil Barragán, pp. 46-48.

⁷⁷ Gil da por error la cifra de 57 500 pesos.

libras por cada cuatro montones mientras que el de Gil había utilizado solamente siete libras con nueve onzas y media, lo que arrojaba una diferencia de siete pesos con un real y medio a favor de este último. Restando un real y medio a este valor, por los imponderables y las eventualidades en el suministro regular del mercurio, se obtenían siete pesos de ahorro neto por cada cuatro montones. Extrapolando esta cifra a los cuatrocientos montones quincenales se alcanzaba un ahorro anual de 16 800 pesos, lo que equivalía a 33 600 libras anuales de azogue.⁷⁸ El ahorro se tornaba más significativo todavía si se consideraban los demás reales mineros del virreinato, lo que a la postre repercutiría en un gran beneficio para el ramo de la minería. En este sentido las reflexiones de Gil resultan ilustrativas ya que, según él, si se llegara a introducir su máquina en Guanajuato, Zacatecas, Bolaños, Catorce y demás centros mineros del reino el ahorro en el consumo de azogue sería “de tanta consideración que no tiene guarismo la cantidad de pesos que se van a ahorrar en el tiempo de un año”. Este factor serviría además para estimular cada vez más la minería del virreinato. Al efecto se preguntaba:

A pocos años ¿qué concepto podremos formar de el estado en que estará nuestra minería? De manera que esta economía de el azogue tiene dos resortes, uno en pro y otro en contra. El favorable es de nuestra España, porque aquella cantidad de azogue que se consume menos es la que dejará de comprarle nuestro católico a los alemanes, que para ellos resulta en contra de sus estados, y esta misma cantidad de pesos que dejan de percibir les disminuye sus ideas a el tiempo mismo que nosotros florecemos.⁷⁹

⁷⁸ Gil obtiene por error la cifra de 20 625 pesos, lo que equivale a 41 250 libras de azogue.

⁷⁹ Gil Barragán, p. 58. El problema del ahorro de azogue también preocupó a Alzate, quien en varias ocasiones abordó el tema. Este sabio atribuyó la pérdida de esta materia prima a “la demasiada frotación” que se daba a los “montones” de mineral en los repasos.

En suma, el ahorro en gastos de operación y materias primas representado por el invento de Gil para los reales mineros situados en el área de Pachuca y Real del Monte ascendía a 129 600 pesos anuales.⁸⁰ Gil propuso que dicha cantidad fuera utilizada como un "avío anual" destinado a desaguar minas inundadas, colar socavones y practicar tiros de ventilación. Además, afirmó que el descenso en el comercio del magistral y de la sal debido a la introducción de su invento en los reales mineros no era comparable a lo que la minería ganaba y ahorra al ponerlo en práctica. A este respecto afirmaba:

A más de que el primero [el magistral] tiene su consumo, convirtiéndolo en cobre para el rey, que compra cuanto se le vende y lo paga a un precio ventajoso, y el segundo [la sal] es de poca monta, y siendo cierto como lo es que cuanto más plata rinda la minería tanta más moneda se acuñará, resulta por precisión a beneficio de todos los que comercian, como que la felicidad de éstos consiste en las monedas que son el alma de todos los tráficos de el mundo.⁸¹

El argumento fundamental que Gil esgrimía a favor de esta tesis era el del rendimiento de plata logrado con su máquina y que resultaba superior al obtenido con el beneficio de "patio". Los rendimientos obtenidos por este método en tres de los cuatro montones de mineral (que era de baja ley) y que totalizaban 79 quintales y medio, fueron, en cifras redondas, de quince marcos en total, o sea un 18.8% del peso total del mineral, lo que representaba un rendimiento bajo,

Para solucionar este problema propuso mezclar arena a los "montones" de mineral, "para que el azogue en virtud de las leyes de la naturaleza logre la facilidad necesaria para unirse a la plata". ALZATE, 1831, iv, pp. 369-372.

⁸⁰ Este valor difiere del de Gil en 6 125 pesos menos, debido a los dos valores equivocados que obtuvo para el magistral y para el azogue. *Vid. supra*, notas 77 y 78.

⁸¹ Gil Barragán, pp. 54-55.

ya que equivalía a onza y media por quintal.⁸² En cambio por el método de Gil se obtenían, también en tres montones de este mineral de bajo contenido en plata, dos onzas por quintal, lo que representaba un 25.06% sobre el peso total del mineral procesado. El beneficio de la plata por el nuevo invento redituaba media onza de más por cada quintal, lo que según Gil equivalía a 6 718 marcos con seis onzas de plata anuales. Ahora bien, "a siete pesos cuatro reales que le quedan a el minero libres en cada marco después de los derechos y demás gastos, componen 50 390 pesos cinco reales de aumento en la partida de platas".⁸³ El beneficio para los mineros era obvio ya que representaba el 15.64% del valor de la plata extraída en 1791 en Real del Monte. En ese año fueron presentados al quinto real 42 939 marcos con seis onzas de plata, y de haberse seguido el beneficio "nuevo" esta cifra hubiera ascendido a 49 658 marcos con cuatro onzas, con el consiguiente beneficio para el quinto real.

Por otra parte, era evidente que el nuevo arbitrio ideado por Gil permitiría beneficiar metales que resultaban in-costeables de procesar por el viejo método, ya que el considerable ahorro en tiempo y en materias primas compensarían el valor de la plata beneficiada. Así, menas con contenido de una onza de plata por quintal ya resultaban susceptibles de ser amalgamadas con ventaja, cuenta aparte de que la plata beneficiada entraría en circulación más prontamente, eliminando los costos de amortización que originaban los minerales inmovilizados durante dos o tres meses, como lo

⁸² Garcés y Eguía afirmó que para producir tres millones de marcos de plata había que procesar diez millones de quintales de mineral. GARCÉS Y EGUÍA, pp. 121 y 125; BRADING, 1975, pp. 209-211. Esto daba por resultado un valor estimado de dos onzas y media de plata por quintal, cifra que tanto Garcés como Humboldt consideraron baja. Este último estimó que el mineral extraído de La Valenciana entre 1800 y 1803, que sumaba 720 000 quintales, había rendido 360 000 marcos de plata, o sea cuatro onzas por quintal, que no deja de ser un valor alto para el común de los minerales novohispanos. HUMBOLDT, 1941, m, p. 289.

⁸³ Gil Barragán, pp. 66-67.

requería el método de "patio". Además, el proceso en las "tinajas de molinetes" pondría en circulación el azogue que los mineros acaudalados almacenaban previsoramente, ya que la rapidez del procedimiento requería un consumo mayor de mercurio, lo que no quería decir que en un momento dado éste resultara insuficiente pues, como en el caso de la sal, el azogue también tenía un alto índice de recuperabilidad, mayor que el obtenido con el sistema tradicional.⁸⁴

A fines de noviembre de 1791 los experimentos con la "máquina de molinetes" habían tocado a su fin mostrando más allá de toda duda su superioridad sobre el beneficio antiguo. Los ahorros en el gasto de operación, y en el costo de las materias primas, sumados al aumento en las utilidades por el mayor rendimiento de plata ascendían a 179 990 pesos anuales, para los reales situados en la zona de Pachuca, según el siguiente cálculo:

RESULTADOS (PESOS) *

Ahorro en costos (anual)

Gastos de operación		38 400
Materias primas	{	Sal 19 200
		Magistral 55 200
		Azogue 16 800
Sub-total		129 600

Aumento en utilidades (anual)

Diferencia en el rendimiento de plata	50 390
Total:	179 990

* Cada partida fue calculada con base en cuatrocientos montones procesados quincenalmente en Pachuca, Real del Monte, El Chico, Capula y Santa Rosa. (De hecho estas dos últimas estaban comprendidas dentro del distrito de Atotonilco el Chico.) Vid. DAHLGREN, 1887, pp. 198-202).

⁸⁴ Gil Barragán, pp. 58-63.

Este valor justificaba por sí solo la adopción del procedimiento; sin embargo, por diversas causas que expondremos a continuación, los mineros novohispanos que lo conocieron y se interesaron en él, sólo hicieron un uso pasajero del mismo, ya que a pesar de las pruebas que realizaron y de que resultaron satisfactorias continuaron con sus técnicas habituales.

III

DESDE PRINCIPIOS de 1790, o sea por las fechas en que Gil comenzaba a construir el diseño ya modificado de la máquina primitiva, varios mineros quisieron verla trabajar y realizar pruebas con ella. Manuel Ortiz, del real de Sultepec, hizo experimentos con metales de baja ley y "difíciles de beneficio", y convencido de sus rendimientos la introdujo temporalmente en sus minas con la autorización de Gil, llegando a lograr "dos tantos más de ley" de la que obtenía habitualmente. Este "arte de molinete", como llegó también a llamársele, fue llevado con buenos resultados a Oaxaca por Juan de Molina. Las pruebas realizadas por Francisco Rodríguez Flores con mineral totalmente incosteable de su mina de Santa Rita dieron resultados también positivos ya que logró obtener dieciocho marcos por cada cien quintales de mineral en tanto que por el método de "patio" sólo alcanzaba los seis marcos por el mismo volumen de mineral. Carlos Flores, "rescatador y beneficiador" del real de Zacuapala, hizo pruebas con mineral de la mina de Santa Isabel, que por el método de fundición le rendía tres marcos por carga, y obtuvo la misma cantidad con la nueva máquina pero con menor costo de operación sobre todo en combustibles. En otros reales aledaños al del Monte las pruebas con la máquina ya perfeccionada dieron resultados semejantes y aun mejores. Nicolás de Córdoba, administrador de las minas de Pachuca, que obtenía quince marcos de plata por montón de treinta quintales, logró mejorar esta cifra y obtuvo cincuenta marcos por montón de igual peso, lo que representaba sin duda un rendimiento superior inclusive al de

La Valenciana. En la mina de El Encino, Mariano Tello triplicó de siete a veintiún marcos sus rendimientos por montón de treinta quintales. Otros mineros como José Belio o Francisco Rodríguez Bazo también lograron mejoras al adoptar el procedimiento. En la mina de Todos los Santos lograron incrementar sus rendimientos en un treinta por ciento y en las de la "gran compañía", que producían minerales de difícil beneficio que requerían un tratamiento previo de "desmineralización", llegaron a obtener cinco marcos por partida. En la mina de Cabrera, que pertenecía a la empresa minera de la Sierra de El Nopal, que era donde Ribera trabajaba y que producía "metales rebeldes y muy delicados en su beneficio", se obtuvieron cinco marcos con cinco onzas por montón.⁸⁵ En suma, si hemos de dar crédito a todos estos testimonios, y a otros más que dejamos de lado aportados por Gil para demostrar la eficacia de su invento, es obvio que debieron de existir fuertes razones para que no fuera adoptado permanentemente, sobre todo si consideramos que era la única forma viable en que el funcional método de Börn podía ser introducido en México, ya que, como Gil señaló diez años antes de que Humboldt lo hiciera, era más fácil encontrar fuerza motriz para hacer girar los molinetes de las tinas —que en su funcionamiento eran similares a las arrastras o tahonas comunes— que procurarse los combustibles necesarios para la fundición en un país donde las minas se hallaban en llanuras o cañadas desprovistas de bosques. Este factor, que eliminaba el principal obstáculo, favorecía que se adoptara el método de Gil, que prescindía de la tostación y que sólo requería de fuerza motriz constante.

El corolario de todo esto fueron las pruebas realizadas por los peritos comisionados por el virrey y el Tribunal de Minería, que sancionaron oficialmente el invento y confirmaron de hecho las obsoletas tesis científicas de Ribera que explicaban su funcionamiento. O sea, que desde los puntos de vista de la ciencia, de la técnica y de la economía el "artificio de los molinetes" funcionaba, y si no tuvo el éxito nece-

⁸⁵ Gil Barragán, p. 76. *Vid. supra*, nota 13

sario para ser aplicado en escala industrial no fue porque se hubiera tratado de uno más de esos inventos producto de la imaginación y de la fantasía que menudearon en el siglo XVIII novohispano. Su fracaso atendió a otras causas.

La primera y probablemente la de mayor peso fue el proverbial temor de los mineros a las innovaciones, cuyo argumento básico fue parafraseado con sarcasmo por Gil: "Yo no me meto en cosas nuevas", decían, según él, los mineros, "porque mis antepasados me dejaron en esta costumbre, y yo no quiero salir de lo que ellos me enseñaron".⁸⁶ Aparte de esta tradicional resistencia hemos de considerar que los mineros debieron desconfiar tarde o temprano de un invento que sabían derivado del de Börn, al cual habían visto fracasar. El hecho de que Revillagigedo al final le retirara su apoyo en base al dictamen del Tribunal pudo ser otro factor determinante. Por último, el invento de Gil tuvo que enfrentarse desde el principio con varios opositores que cuestionaron su efectividad. Así lo manifiesta este autor cuando dice:

Este proyecto tuvo desde sus principios varios antagonistas, no sé si por emulación o por fines particulares. Lo cierto es que a los partidarios de los extranjeros no les cuadra que nuestra nación española lleve adelante los incrementos florecientes de nuestros proyectos, porque sólo ellos quieren saber, sin saber que también en Nueva España hay entendimientos e industria como en todas las partes del mundo.⁸⁷

Habían de pasar más de treinta años para que, después de la independencia, James Vetch, de la Compañía Inglesa de Real del Monte, propusiera introducir ahí el método de barriles de Börn,⁸⁸ sin saber que entre 1789 y 1792 se había llevado a cabo una valiosa tentativa para poner en práctica la única variante de dicho proceso que podía operar dentro de las condiciones reales de trabajo de la minería mexicana.

⁸⁶ Gil Barragán, p. 41.

⁸⁷ Gil Barragán, pp. 65-66.

⁸⁸ PHILLIPS, 1867, pp. 279-287; RANDALL, 1977, p. 135.

SIGLAS Y REFERENCIAS

- AGNM Archivo General de la Nación, México.
 AMNM Archivo del Museo Naval, Madrid.
 Gil Barragán "Nuevo descubrimiento de máquina y beneficio de metales por el de azogue" (1792), MS, en la biblioteca del Archivo General de la Nación, México; sección de manuscritos.
 Ribera Sánchez "Idea sucinta de metalurgia" (1792), MS, en la biblioteca del Archivo General de la Nación, México; sección de manuscritos.
- ALZATE, José Antonio
 1831 *Gacetas de literatura de México*, Puebla, Hospital de San Pedro.
- BAKEWELL, P. J.
 1971 *Silver mining and society in colonial Mexico—Zacatecas— 1546-1700*, Cambridge, Cambridge University Press.
- BARBA, Álvaro Alonso
 1770 *Arte de los metales*, Madrid, Viuda de Manuel Fernández.
- BARGALLÓ, Modesto
 1955a "Las investigaciones de Fausto de Elhuyar sobre amalgamación de menas de plata" en *Ciencia*, xv (México), pp. 261-264.
 1955b *La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial*, México, Fondo de Cultura Económica.
 1969 *La amalgamación de los minerales de plata en Hispanoamérica colonial*, México, Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey.

BRADING, David A.

- 1975 *Mineros y comerciantes en el México borbónico — 1763-1810* México, Fondo de Cultura Económica.

DAHLGREN, Charles B.

- 1887 *Minas históricas de la República Mexicana*, México, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento.

GÁLVEZ-CAÑERO Y ALZOLA, Antonio de

- 1933 *Apuntes biográficos de D. Fausto de Elhuyar y de Zubice*, Madrid, Gráficas Reunidas.

GAMBOA, Francisco Javier de

- 1874 *Comentarios a las ordenanzas de minas*, México, Díaz de León y White.

GARGÉS Y EGUÍA, Joseph

- 1802 *Nueva teórica y práctica del beneficio de los metales de oro y plata por fundición y amalgamación*, México, Mariano de Zúñiga y Ontiveros.

HOWE, Walter

- 1968 *The mining guild of New Spain and its Tribunal General — 1770-1821*, Nueva York, Greenwood Press.

HUMBOLDT, Alejandro de

- 1941 *Ensayo político sobre el Reino de la Nueva España*, Editorial Pedro Robredo.

Los virreyes

- 1972 *Los virreyes de Nueva España en el reinado de Carlos IV*, dirección y estudio preliminar de José Antonio Calderón Quijano, Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericanos.

MOTTEN, Clement G.

- 1972 *Mexican silver and the enlightenment*, Nueva York, Octagon Books.

MURO, Luis

- 1964 "Bartolomé de Medina, introductor del beneficio de patio en Nueva España", en *Historia Mexicana*, XIII:4 (abr.-jun.), pp. 517-531.

Ordenanzas minería

- 1783 *Reales ordenanzas para la dirección régimen y gobierno del importante cuerpo de la minería de Nueva España y de su Real Tribunal General*, Madrid.

PARTINGTON, J. R.

- 1960 *A short history of chemistry*, Nueva York, Harper and Brothers.

PHILLIPS, J. Arthur

- 1867 *The mining and metallurgy of gold and silver*, Londres, E. and F. N. Spon.

RAMÍREZ, Santiago

- 1894 *Datos para la historia del Colegio de Minería*, México, Imprenta del Gobierno Federal en el ex-Arzobispado.

RANDALL, R. W.

- 1977 *Real del Monte — Una empresa minera británica en México*, México, Fondo de Cultura Económica.

REVILLAGIGEDO, conde de

- 1966 *Informe sobre las misiones (1793) e Instrucción reservada al marqués de Branciforte (1794)*, Introducción y notas de José Bravo Ugarte, México, Editorial Jus.

SONNESCHMIDT, Federico

- 1825 *Tratado de amalgamación de Nueva España*, París, Galería de Bossange (padre) — México, Librería de Bossange (padre), Antoran y Cía.

ZAVALA, Silvio

- 1962 "La amalgamación en la minería de la Nueva España" en *Historia Mexicana*, XI:3 (ene.-mar.) pp. 416-421.