

Propuestas de mejoras de los sistemas metalúrgicos durante la explotación española de las minas de Riotinto en el siglo XIX

Miguel ORTIZ MATEO⁽¹⁾ y Emilio ROMERO MACÍAS⁽²⁾

(1) Dpto. Ingeniería Minera, Mecánica y Energética. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Huelva. 21819-La Rábida. Huelva. Email: miguel.ortiz.mateo@juntadeandalucia.es

(2) Dpto. Ingeniería Minera, Mecánica y Energética. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Huelva. 21819-La Rábida. Huelva. Email: romaci@uhu.es

Resumen

ORTIZ MATEO, M. y ROMERO MACÍAS, E. (2012). Propuestas de mejoras de los sistemas metalúrgicos durante la explotación española de las minas de Riotinto en el siglo XIX. *Hastial*, 2: 229-246

Huelva ha sido considerada como una de las provincias metalogenéticas más importantes del mundo con más de 5.000 años de historia minera, destacando la época romana en Riotinto como así lo atestiguan los nueve millones de toneladas de escorias generadas.

Las minas fueron rehabilitadas en 1725 por el sueco Wolters, al que sucedió su sobrino Tiquet, que en 1747 logró establecer el beneficio por vía seca, sistema que se mantuvo hasta 1845 en que se sustituye por la cementación artificial. A partir de este momento se abandona el procedimiento por vía seca, coexistiendo la cementación natural y artificial hasta el final del periodo estudiado.

En el presente artículo se describen las mejoras a los métodos metalúrgicos existentes propuestas por los ingenieros para el periodo estudiado, así como nuevos métodos, con el objeto de obtener mayores beneficios económicos, aunque en general no llegaron a realizarse debido a la incomprensión del Gobierno.

Palabras clave: cobre, cementación artificial, época, minería, Riotinto, vía seca, vía húmeda, yacimiento.

Abstract

ORTIZ MATEO, M. y ROMERO MACÍAS, E. (2012). The proposal improvements for the metallurgical process during the Spanish exploitation on the Riotinto's mines in the XIX century. *Hastial*, 2: 229-246

Huelva has been regarded as one of the most important metallogenetic province of the world with more than 5.000 years of mining history, stressing the roman period in which nine million tons of slag was generated.

The mines was recovered in 1725 by a Swede named Wolters who was succeeded by his nephew Tiquet that in 1747 establishing it's benefits by the drying out system of which was maintained until 1845, and the substituted by artificial cementation. From this moment on, the drying procedure was abandoned co-existing the artificial and natural cementation until the end of the studied period.

In the present article have been described the improvements for metallurgical methods and the purposes that the engineers had given for it during the analysed period of time, so as the new methods to be applied, with the unique objective of obtaining a better economical benefit, but by general, those were never used due to the Government incomprehensible attitude.

Keywords: copper, artificial cementation, period, mining, Riotinto, dry process, wet process, deposit.

INTRODUCCIÓN

En el periodo comprendido entre 1747 a 1845 se utilizó en Riotinto la metalurgia por vía seca, que consistía en tres calcinaciones del mineral al aire libre a alta temperatura ($> 710\text{ }^{\circ}\text{C}$) cuyo objetivo era obtener óxidos de cobre, que posteriormente se reducían con carbón en hornos de fundición obteniéndose cobre negro que seguidamente se refinaba. Este procedimiento tenía los inconvenientes del bajo rendimiento en cobre, la cantidad de impurezas que pasaban al cobre negro, las cuales sólo se eliminaban parcialmente en el afino y el elevado consumo de combustible.

En 1845 ante la falta de combustible por agotamiento del bosque de la zona, se implantó la cementación artificial, cuyo proceso consistía en tres calcinaciones a baja temperatura ($< 710\text{ }^{\circ}\text{C}$) con el fin de obtener sulfatos de cobre que eran disueltos en agua, precipitando el cobre por intercambio iónico con hierro. Este procedimiento daba buenos resultados para leyes \leq al 3% de Cu, pero para leyes mayores apenas si aumentaban las recuperaciones, lo que ponía de manifiesto la necesidad de utilizar dos métodos metalúrgicos, la cementación artificial para los minerales pobres y la fundición por matas para los ricos.

Los ingenieros de minas propusieron reiteradamente éstas modificaciones y otras mejoras que se describen a continuación, pero chocaron con la apatía de la Administración que no llegó a autorizarlas.

LOS SISTEMAS METALÚRGICOS

Desde que Elhuyar visitó las minas en 1823 (Elhuyar, 1854) se propuso la fundición por matas para sustituir al método de vía seca existente hasta 1845, en que fue reemplazado por la cementación artificial, cuyo procedimiento no sólo era gravoso por la insignificancia de los productos, sino que los cobres obtenidos eran necesariamente impuros y, por tanto de inferior calidad; contribuían a esta mala calidad el arsénico y el antimonio, que no llegaban a desprenderse en tres calcinaciones consecutivas del mineral (Fig. 1), pasando al cobre en forma de arseniuros y antimoniuros de cuya combinación era ya difícil desalojarlos.

El método de fundición que los ingenieros proponían, primero para sustituir el método de fundición que desde el siglo XVIII se había utilizado en el establecimiento, y después en reemplazo de la cementación artificial que ocasionaba incalculables pérdidas, era la fundición por matas, que no era otra cosa que una serie de concentraciones utilizando la afinidad química que existe entre el cobre y el azufre.

En el año 1845 (Escosura, 1845) se propuso la sustitución del tratamiento por matas al antiguo método, aconsejando una sola calcinación de los minerales, su reducción a matas, calcinación de éstas y fundición para cobre negro y nuevas matas. En este mismo año se cambió radicalmente el sistema de beneficio, sustituyéndolo sin ningún estudio detallado, acuciados por la falta de madera y carbón en el término, por el de cementación artificial.

Los inconvenientes de la cementación artificial tardaron varios años en percibirse, siendo los mismos residuos de la cementación artificial los que los revelaron, pues en los residuos había minerales de alta ley que por disolución habían rendido una pequeña parte del cobre que contenían, perdiéndose el resto; posteriormente se comprobó accidentalmente que las aguas de lluvia que se volvían ácidas sobre los terreros llevaban cobre, pero los terreros no estaban en el sitio apropiado, ni su suelo impermeabilizado.



Figura 1: *Calcinaciones al aire libre (finales del siglo XIX).*(A.F.R.T.)
 Figure 1: *Open-air calcinations (from a late-nineteenth century).* (A.F.R.T.)

En 1849, se llegaron a realizar una serie de ensayos en la zona denominada “Los Planes” (Fig. 2), neutralizando el ácido libre contenido en las lejías de los minerales, por medio de la sal común, lo cual, si bien proporcionaba una economía en el consumo de hierro, quedaba destruida por el coste de la sustancia destinada a la saturación (Rúa Figueroa, 1868).

En el año 1851, el ingeniero inglés Mamby, indicó un tratamiento análogo al utilizado en País de Gales (Mamby, 1851), con las necesarias adaptaciones a las circunstancias locales, económicas y comerciales.

Cía (1853) estableció la similitud existente entre los minerales del criadero de Fahlun, en Suecia, y los de Riotinto, aconsejando el sistema de beneficio seguido para aquellos, demostrando numéricamente las ventajas de esta reforma.

En 1853 se propuso dos medios para eliminar el sulfato férrico de las lejías, causa principal del gasto inútil de hierro: o la saturación por medio de la cal, o la calcinación de los minerales en hornos de reverbero; pero desechando estos medios, se opta por la calcinación en hornos cerrados, hasta convertir todo el mineral en óxido ferroso-férrico, o cuando menos en óxido férrico y óxido cúprico, sometiendo este mineral a una

sulfatación indirecta tratándole por agua acidulada con ácido sulfúrico obtenido en la calcinación, y, por fin, aconsejaba precipitar el cobre por un procedimiento electroquímico (Martínez Alcívar, 1853).



Figura 2: Zona de cementación "Los Planes" en la actualidad. (E. Romero)
Figure 2: Clearing out the cementation tanks "Los Planes" actually. (E. Romero)



Figura 3: Teleros calcinados en "Los Planes". (E. Romero)
Figure 3: Calcinations Teleros in "Los Planes". (E. Romero)

Con motivo de la venta de las minas, Anciola y Cossío (1856) elaboraron una importante memoria en la que proponían un sistema de beneficio de los minerales según su ley: los minerales pobres, 1,09049% de cobre, se calcinarían en teleras (montones de mineral que una vez calcinados adquirirían la forma de un pan de la zona) (Fig. 3), al igual que se venía haciendo en Agordo, los minerales intermedios, 2,18408% de cobre, se calcinarían provisionalmente en teleras, y posteriormente en hornos stirianos; y los minerales ricos, 7,23207% de cobre, se calcinarían en hornos stirianos.

Una vez calcinados los minerales, el proceso metalúrgico sería el siguiente:

- Los minerales pobres e intermedios se beneficiarían por vía húmeda, cementación artificial, afinándose las cáscaras obtenidas en horno de reverbero. El mineral calcinado residual se volvería a calcinar, repitiéndose el proceso descrito hasta que su contenido en cobre fuese despreciable; llevándose entonces a unos montones llamados terreros para su última recuperación.
- Los minerales ricos, una vez calcinados en los hornos stirianos, operación que permitía también recuperar el azufre contenido en los minerales, recibirían un primer fundido en hornos semialtos, hasta producir unas matas de cobre que serían exportadas.

La obtención de matas suponía un importante ahorro de transporte, al no tenerse que transportar las sustancias estériles y además permitía utilizar en esta fundición los núcleos (en la calcinación por encima de los 710 °C se favorecía la formación de óxidos de hierro que se combinaban con los óxidos de cobre y zinc (ferritos) formando núcleos ricos en cobre e insolubles en agua ácida (CuOFe_2O_3) de las calcinaciones, escorias del afino, papuchas (lodos procedentes de los pilones de cementación, que contenían normalmente entre el 16 y el 40% de Cu) de la cementación, escorias de fundición y cobre-cemento, en forma de polvo, de los pilones de decantación; residuos con contenido en cobre que había que aprovechar.

Por tanto, los procesos metalúrgicos que se desarrollarían en Riotinto serían la cementación natural de aguas, vitriolos y tierras vitriólicas; la cementación artificial para los minerales pobres e intermedios; y la calcinación en hornos stirianos y un primer fundido en hornos semialtos de los minerales ricos.

Con ello se podrían exportar cobre fino procedente de la cementación natural y artificial, matas de cobre, con una ley aproximada de un 30% de cobre y el azufre procedente del primer fundido de los minerales ricos.

Las matas producidas serían transportadas a Huelva para su posterior transformación y afino, o bien a Asturias, proponiendo la construcción de un ferrocarril o una carretera desde las minas al puerto de Huelva.

Del sistema propuesto por Anciola y Cossío (1856) (Fig. 4) ya se realizaba la vía húmeda, aunque no se beneficiaban los terreros, y la vía seca que era la novedad, no llegó a implantarse en este periodo, y por supuesto tampoco se realizó la carretera ni el ferrocarril.

En 1857, Jorge Riecken, propuso igualmente la adopción del tratamiento de fundición combinado con el de cementación (Riecken, 1857), a fin de concentrar en los residuos de la cementación la plata contenida en los minerales. Siguiendo el ejemplo de Anciola y Cossío, proponía la fabricación de matas para su exportación y beneficio en Asturias, Portugal, Francia o Inglaterra.

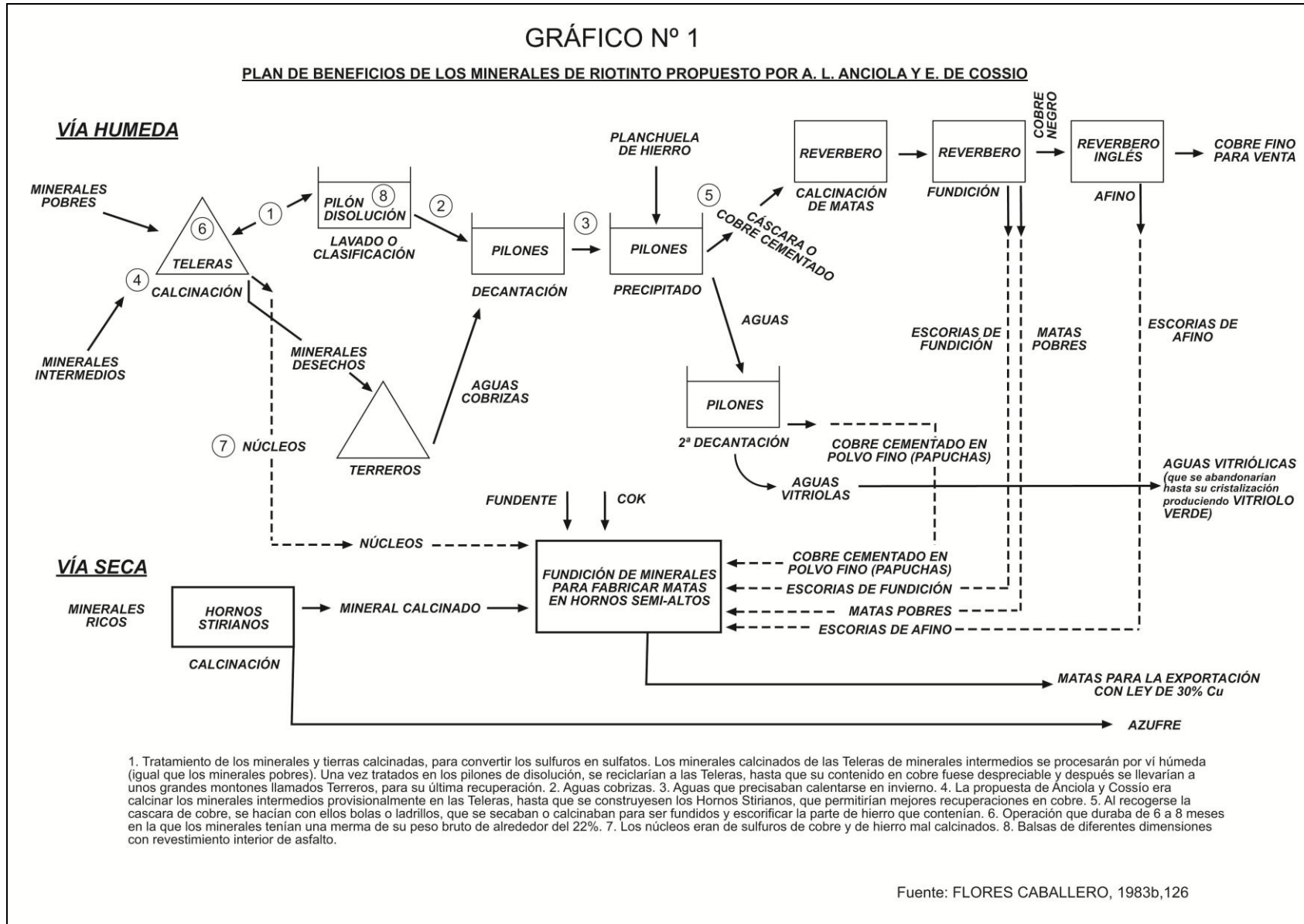


Figura 4: Plan de beneficios de los minerales de Riotinto propuesto por Anciola y Cossío
 Figure 4: Ores extraction plan from Riotinto proposed by Anciola y Cossio

En 1859 se publicó otra Memoria, escrita en 1854 por Ezquerria, en la que se leen las siguientes palabras (Ezquerria del Bayo, 1859):

“Si se establecieran hornos de grandes dimensiones y con máquinas para suministrar el viento, como las que ahora se usan en otras partes, y produciendo el calórico con carbón mineral, tal vez resultaría que el beneficio por cementación artificial no lleva las ventajas que se suponen al beneficio por fundición.

Conviene, pues, construir un horno, digámoslo así a la moderna, para buscar la solución de un problema de tanto interés para el porvenir del establecimiento. Si el resultado fuese en favor de la fundición, como yo lo creo, aun cuando se equiparasen se podría añadir o ir añadiendo poco a poco el complemento de los hornos necesarios para la producción total...

Una pirita que pase del 5% su contenido de cobre, no se le ocurrirá a ningún metalurgista beneficiarla por cementación.”

En 1860 se ensayó en Riotinto el método llamado de Sinding, consistente en que las lejías cobrizas se obtenían en la forma ordinaria, siendo el cobre precipitado de su disolución por medio de una corriente de hidrógeno sulfurado, producido por la calcinación del mismo mineral en condiciones a propósito para conseguir este reactivo. Este procedimiento, ensayado también por su autor en Foldal, aun cuando no exento de inconvenientes prácticos hizo concebir fundadas esperanzas, disipadas ante las dificultades económicas y administrativas que surgían siempre que la Hacienda Pública tenía que prestar su cooperación y sus elementos industriales (Rúa Figueroa, 1868).

En Marzo de 1861, Cossío obtuvo un privilegio de invención para un nuevo método de beneficio de los minerales de cobre con ganga de pirita de hierro. El método se basaba en destinar una parte del mineral calcinado a la preparación de esponja de hierro (hierro metálico poroso), la cual después de molida sustituía a los lingotes en la precipitación del cobre de sus lejías, obtenidas por disolución de la otra parte del mineral. El cobre contenido en la esponja se recogía con el cementado, y con adición de pórfido descompuesto (fundente) se formaban bolas que se fundían siguiendo el método ordinario. Este procedimiento que había sido ensayado en Riotinto, era para Rúa Figueroa el más digno de estudio de cuantos se habían propuesto y el más aceptable si hubiese podido concretarse su aplicación al beneficio de los minerales cuya ley no excediese del 5%. La Comisión de Visitas de 1867 recomendó la utilización de este procedimiento, que venía avalado por un ensayo práctico sobre una cantidad de 6.000 quintales de mineral y recomendado por la Junta Superior de Minería; al tener demostradas sus ventajas, el Gobierno lo aceptó y mandó plantearlo, pero las obras fueron paralizadas (Gómez de Salazar, 1870), por lo que era difícil predecir la época en que podría funcionar. Las minas se vendieron a los ingleses sin que hubiese entrado en funcionamiento.

Eugenio Fernández (1862), señaló también, la fundición por matas, mezclando en las cargas de primera fusión el mineral crudo rico, el metal, los núcleos y papucha pobre calcinada y, en la fundición de las matas calcinadas para cobre negro, las bolas de cáscara, escoria y papucha ricas. Esta idea es la que siguió Rúa Figueroa para los ensayos que realizó de fundición por matas.

El director de la fábrica de San Juan de Alcaraz, buen conocedor de la industria del cobre, propuso en 1864 la cementación en canales como medio eficaz, para depurar la cáscara de cementación y obtener cobres de gran pureza, sistema que fue impugnado por Rúa Figueroa (1868).

El francés Piquet propuso aumentar el rendimiento de los minerales, aprovechando los núcleos de la calcinación, en los que se perdía tanto cobre como se sacaba, o sea 1,35%, indicando el beneficio de este producto, pulverizándolo y separando mecánicamente el residuo terroso y estéril del polvo cobrizo (Rúa Figueroa, 1868).

También la Comisión de Valoración y Tasación de 1870, estableció una propuesta de recuperación industrial de los minerales de Riotinto (Fig. 5), que únicamente aporta como novedad la exportación directa a Inglaterra de los minerales con ley superior al 3%.

Los primeros ensayos de fundición por matas, se realizaron entre 1857 y 1858, no dando los resultados esperados, por lo que desgraciadamente se paralizaron; comprendía claramente la conveniencia de no seguir sometiendo a los minerales ricos a la cementación artificial, siendo la solución para el tratamiento de estos minerales la fundición por matas; con lo que se conseguirían importantes economías, pues se podrían tratar además los subproductos, ricos en cobre, de los restantes minerales, como eran las papuchas, núcleos, etc., que se obtenían en la cementación artificial; considerando que la ley mínima que debían tener los minerales para ser fundidos era del 6% en cobre, beneficiándose por cementación los de menor ley.

La operación de clasificar el mineral según sus leyes era previa, debiendo realizarse en la misma boca de los pozos de extracción.

La descripción de los ensayos de fundición por matas es en síntesis la siguiente (Rúa Figueroa, 1868) y (Flores Caballero, 1983 b):

En Enero de 1865 se comenzaron los ensayos de fundición por matas con una plantilla compuesta por nueve personas que trabajaban en dos turnos de 12 horas cada uno.

Para ello reedificó la antigua fábrica de “Los Desamparados”, cedida en otro tiempo a la empresa arrendataria de “La Cerda”, construyendo en la nueva planta dos hornos semialtos de distintas dimensiones en su sección horizontal, con objeto de comprobar los resultados de cada uno. Ambos eran prismáticos rectangulares, y su altura común de 3,50 metros, dividida en 2,50 metros hasta la tobera, 0,50 metros desde ésta hasta la superficie del crisol y 0,50 metros de espesor del piso de carbonilla.

El ancho y largo de la manga variaban de esta forma:

	Largo	Ancho
Horno nº 1	1,00 m	0,60 m
Horno nº 2	0,80 m	0,56 m

El viento era suministrado por una pava o fuelle, puesto en movimiento por una rueda hidráulica de nueva construcción, de unos dos caballos de potencia. La busa tenía 4,5 centímetros de diámetro.

La camisa de estos hornos era de pórfido diorítico y su parte anterior se cerraba en cada campaña con un tabique de ladrillos refractarios.

NUEVAS PROPUESTAS DE MEJORAS

El proceso completo de fundición comportaba cuatro fases: el primer fundido; la calcinación de las matas producidas; un segundo fundido; y el afino en horno de reverbero del cobre negro producido. Se realizan dos mezclas de materiales para ensayarlas separadamente. Por una parte, se operó con los minerales ricos (crudos y

calcinados, incluyendo una sílice cobriza con ley superior al 6%) mezclados con los núcleos de la cementación artificial. Por otra, con los minerales ricos mezclados con las papuchas (polvos y arenas cobrizas residuales de los pilones y canales de la cementación artificial).

El proceso era el siguiente (Figura 6):

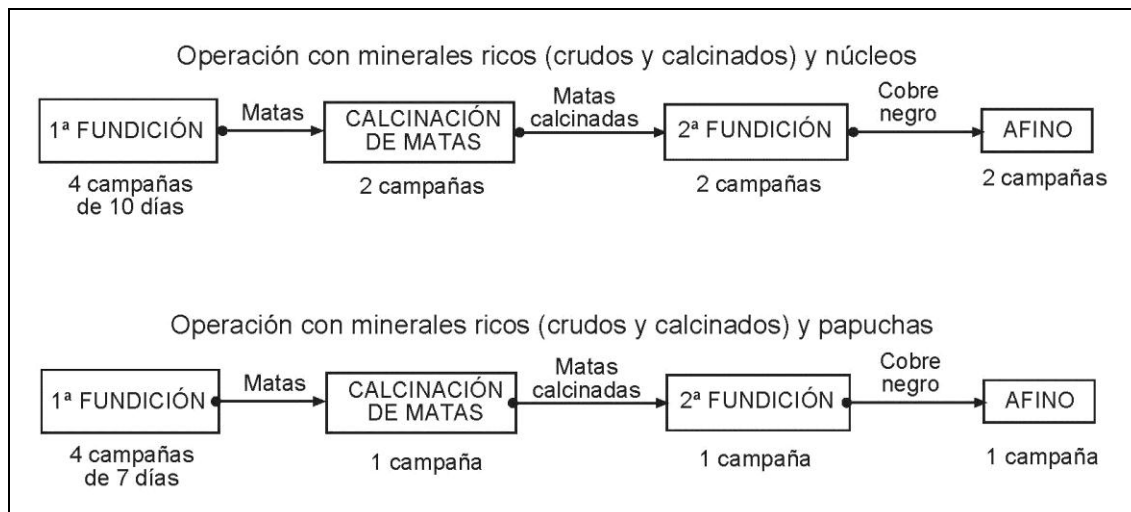


Figura 6: Esquema de la fundición experimentada por Rúa Figueroa.

Figure 6: Smelter diagram experienced by Rúa Figueroa.

En el primer fundido, tanto el primero como el segundo tipo de materiales, se utilizó como sílice, aparte de la sílice cobriza que componía la liga, unos pórfidos descompuestos que existían en el término; y como fundente, las escorias antiguas, tan abundantes en el término y tan estimadas en las modernas fundiciones porque, reuniendo las condiciones mínimas como fundentes, ofrecían además el atractivo de sus contenidos en cobre.

Cada operación del primer fundido se realizó en cuatro campañas, con una duración de 39 días la de los minerales ricos mezclados con núcleos, a una media de casi 10 días por campaña, y de 27 días la de los minerales ricos con papuchas, a una media de 7 días por campaña.

Los materiales tratados y los productos recogidos en el primer fundido fueron los siguientes (Tabla I):

Tabla I

	Minerales núcleos	Minerales papuchas	Total de ambas ligas
Materiales cobrizos tratados	157.025	95.317	252.342
Ley media de cobre	8,8266%	9,5659%	9,1059%
Cobre contenido	13.860	9.118 kg	22.978
Producciones			
Matas de cobre	62.755	33.747	96.502

Tabla I: Recuperaciones metalúrgicas del primer fundido de matas calcinadas, expresado en kg (Rúa Figueroa, 1868)

Table I: Metallurgical recoveries from first calcined copper mattes smelting, expressed in kg (Rúa Figueroa, 1868)

Los 96.502 kg. de matas producidas tenían del 22 al 23% de cobre, lo que suponía de 21 a 22 tm. de cobre. Las escorias pobres obtenidas en este primer fundido dieron una ley en cobre del 0,619%. Aparentemente, estos resultados parecen erróneos por demasiado elevados; pero hemos de tener en cuenta que la sílice y el fundente (escorias antiguas) tenían un fuerte contenido en cobre que, sumado al de los materiales cobrizos fundidos, daban una cantidad de cobre similar al de éstos últimos.

La segunda fase metalúrgica consistió en la calcinación de las matas que se efectuó en tres campañas, dos de las cuales corresponden a las matas procedentes del fundido de los minerales-núcleos y la tercera a los del fundido de los minerales-papuchas. Estas operaciones se efectuaron en montones cónicos, con un diámetro en la base de cinco a seis metros, colocados al aire libre.

El hecho de que las matas procedentes de minerales-núcleos se sometieran a dos campañas fue debido a que la primera de ellas, realizada como prueba, produjo una mala calcinación, debido al corto espacio de tiempo (36 días en cinco fuegos) de la operación, motivo por el que las dos restantes fueron de mayor duración (56 días la segunda y 60 la tercera, ambas en ocho fuegos).

Los materiales tratados en la calcinación de las matas fueron: 62.226 kg. de matas procedentes del primer fundido de minerales-núcleos (29.813 kg. en la primera campaña y 32.413 kg. en la segunda) y 34.276 kg. de matas del de minerales-papuchas. En total 96.502 kg. de matas de cobre. Como se puede observar, aunque la suma total coincide (96.502 kg.), los 62.755 kg. de matas originadas en el primer fundido de minerales-núcleos se habían reducido, aumentando en cambio, en la misma cantidad los 33.747 kg. de matas procedentes de minerales-papuchas. La diferencia de 529 kg. obedece a una transferencia de matas en la operación por necesidades de completar la mesada (proporción de entrada de minerales).

La tercera fase metalúrgica fue el segundo fundido de las matas calcinadas, que se realizó en tres campañas: dos de ellas para las matas procedentes de los minerales-núcleos (la primera de siete días y la segunda de once) y la tercera para las matas procedentes de los minerales-papuchas (14 días).

En las tres campañas se agregaron, como sílice, pórfidos descompuestos existentes en el término y, como fundentes, escorias pobres procedentes de la primera fundición de sus respectivas fases.

Los minerales tratados y las producciones conseguidas fueron (Tabla II):

Tabla II

	Minerales núcleos	Minerales papuchas	Total del 2º fundido
Materiales tratados:			
Matas de cobre	62.226	34.276	96.502
Escorias pobres	-	17.253	17.253
Pórfidos	-	1.500	1.500
Producciones obtenidas:			
Cobre negro	9.593	4.716	14.309
Ley de cobre	96,849%	95,689%	95,6-96,8%
Mata rica	5.291	1.955	7.246
Ley de mata	56-60%	56%	56-60%

Escorias pobres	51.759	(?)	(?)
Ley de cobre	1,50%	1,40%	1,40-1,50%
Residuos	-	1.288	1.288
Ley de cobre	-	10,50%	10,50%

Tabla II: *Recuperaciones metalúrgicas del segundo fundido de matas calcinadas, expresado en kg (Según Rúa Figueroa, 1868)*

Table II: *Metallurgical recoveries from second calcined copper mattes smelting, expressed in kg (Rúa Figueroa, 1868)*

Los 14.309 kg. de cobre negro, producto principal de segundo fundido, tenían una ley media que oscilaba entre el 95,6% y el 96,8% de cobre. De los subproductos, las matas ricas dieron una ley de cobre del 56% al 60%; las escorias pobres, del 1,40% al 1,50%; y por último, los residuos que existían en los hornos una ley media del 10,50% de cobre.

Tras conocer los resultados de las operaciones del segundo fundido, Rúa Figueroa consideró que esta actividad debería realizarse en hornos de reverbero, por la rapidez y precisión de su manipulación.

La cuarta y última fase metalúrgica fue la del afino, que se efectuó en hornos de reverberos. El afino, al igual que las anteriores operaciones, se realizó en tres campañas, cuya duración media fue de 18 a 20 horas cada una.

El cobre negro tratado en el afino fue de 14.309 kg. (9.593 kg. procedentes de los minerales-núcleos y 4.716 kg. de los minerales-papuchas) y se recuperaron 11.106 kg. de cobre fino (7.410 kg. de los minerales-núcleos y 3.696 kg. de los minerales-papuchas), conforme al siguiente detalle (Tabla III):

Tabla III

	Minerales núcleos	Minerales papuchas	Total del afino
Materiales tratados:			
Cobre negro	9.593	4.716	14.309
Producciones obtenidas:			
Cobre fino	7.410	3.696	11.106
Ley de cobre	98,6%	98,6%	98,6%
Escoria cobriza	2.323	909	3.232
Ley de cobre	44%	44%	44%
Forros de cuchara (residuos)	104	190	294
Ley de cobre	98%	98%	98%

Tabla III: *Recuperaciones metalúrgicas del afino, expresado en kg (Según Rúa Figueroa, 1868)*

Table III: *Metallurgical recoveries from refining, expressed in kg (Rúa Figueroa, 1868)*

Como el afino era la última operación de la fundición por vía seca, a efectos de valorar la recuperación total posible hemos de tener en cuenta los residuos cobrizos que no se habían reciclado y que eran recuperables (Tabla IV):

Tabla IV

	Minerales-núcleos			Minerales-papuchas		
	Kg	%Cu	Cu Kg cont.	Kg	%Cu	Cu Kg cont.
Mata rica del 2º fundido	1.380	55-60%	794	1.955	55-60%	1.124
Escoria de afino	2.323	44%	1.022	909	44%	400
Forros de cuchara	104	98%	102	190	98%	183
Total			1.918			1.707

Tabla IV: *Residuos metalúrgicos recuperables de la fundición (Según Rúa Figueroa, 1868)*
 Table IV: *Recoverable metallurgical residues from smelting (Rúa Figueroa, 1868)*

Por tanto, el cobre recuperado, tras todas las operaciones del fundido por vía seca, contando con el cobre recuperable de los residuos, era (Tabla V):

Tabla V

	Minerales núcleos	Minerales papuchas	Total Kg
Cobre fino, operaciones directas	7.410	3.696	11.106
Cobre fino de residuos	1.316	1.176	2.492
Totales	8.726	4.872	13.598

Tabla V: *Cobre fino recuperado por el sistema de fundición por matas, expresada en kg (Según Rúa Figueroa, 1868)*
 Table V: *Recovered new copper by matte smelting processes, expressed in kg (Rúa Figueroa, 1868)*

Las recuperaciones técnicas conseguidas fueron las siguientes (Tabla VI):

Tabla VI

	Minerales núcleos	Minerales papuchas	Ambas ligas
Sobre materiales tratados	5,623%	5,291%	5,498%
Sobre matas producidas	14,190%	14,716%	14,377%

Tabla VI. *Recuperaciones técnicas por fundición. (Según Rúa Figueroa, 1868)*
 Table VI. *Technical recoveries by smelting (Rúa Figueroa, 1868)*

Como era lógico se realizó un análisis comparativo entre los rendimientos y costes industriales de los sistemas de cementación artificial, único utilizado en esa época, y de fundición, demostrando cuantitativamente las ventajas que ofrecía la fundición de los minerales ricos. Comparando ambos sistemas para un mineral con una ley media de 5,686% de cobre, calculó que las recuperaciones serían las siguientes (Tabla VII):

Tabla VII

	Cementación artificial	Fundición (vía seca)
Ley de mineral	5,686%	5,686%
Recuperación	3,270%	4,811%
Pérdida metalúrgica	2,416%	0,875%

Tabla VII. *Análisis comparativo de la recuperación del cobre por cementación artificial y fundición (Según Rúa Figueroa, 1868)*
 Table VII. *Comparative analysis of copper recovery by artificial cementation and smelting (Rúa Figueroa, 1868)*

Lo que nos lleva, a que para producir 1 tm. de cobre fino, habría que tratar 30,58 tm. de mineral por el sistema de cementación artificial y 20,78 tm. por el de fundición.

Conforme a los cálculos realizados por Rúa Figueroa, el coste medio del cobre fino por el sistema de fundición era de 5,487 reales/kg.; los procedentes de los minerales-núcleos resultaban a 5,110 reales/kg., los procedentes de los minerales-papuchas a 5,784 reales/kg. y los procedentes de la cementación artificial a 5,462 reales/kg. Por tanto, existía una diferencia de costes industriales a favor de la fundición de minerales-núcleos (más rentables que la cementación artificial) de 0,35 reales/kg. de cobre producido. Esta diferencia de un 6,8% suponía un importante ahorro, sobre todo teniendo en cuenta que en estos ensayos de fundición hubo que superar una serie de imprevistos, que al aplicarse a escala industrial, se conseguiría una mayor reducción de costes.

El procedimiento de fundición ofrecía las siguientes ventajas:

1. Extracción inmediata de la mayor parte del cobre contenido en los minerales ricos (ausencia de stocks de minerales en proceso).
2. Aprovechamiento del mineral silíceo, el cual no era beneficiable por el sistema de cementación artificial.
3. Aprovechamiento de los núcleos y metal formados en la calcinación de los minerales, cuyo rendimiento en cobre por cementación era casi nulo.
4. Purificación probable de la cáscara de cementación y, por consiguiente, del producto en cobre fino, destinando a la fundición por matas el residuo impuro de esta separación.
5. Aprovechamiento de la papucha obtenida en la cementación, cuya ley en cobre oscilaba entre el 16 y el 40% y que con el sistema que se empleaba se perdía casi totalmente.
6. Obtención de mayor suma de productos para una explotación dada de minerales, lo que equivalía a una mayor vida del yacimiento.
7. Reducción del coste del cobre fino respecto al procedimiento utilizado, o aumento de los beneficios.
8. Realización más inmediata que por el método de cementación del capital invertido y sus intereses.
9. Mejora en la calidad de los cobres.

Rúa Figueroa no pretendía suprimir de manera total la cementación artificial, que consideraba como sistema más idóneo para el beneficio de minerales con leyes iguales o menores del 4% en cobre, para los cuales sus rendimientos eran óptimos; pero para leyes mayores, se conseguían mejores utilidades mediante la fundición por matas.

En la Figura 7 se muestra el plan de beneficios de los minerales de Riotinto propuesto por Rúa Figueroa.

La fundición por matas no llegó a establecerse en Riotinto, hasta que no fueron vendidas las minas a los ingleses, que siguieron los criterios establecidos por Rúa Figueroa.

GRÁFICO N° 4. PLAN DE BENEFICIOS DE LOS MINERALES DE RIOTINTO PROPUESTO POR RUA FIGUEROA

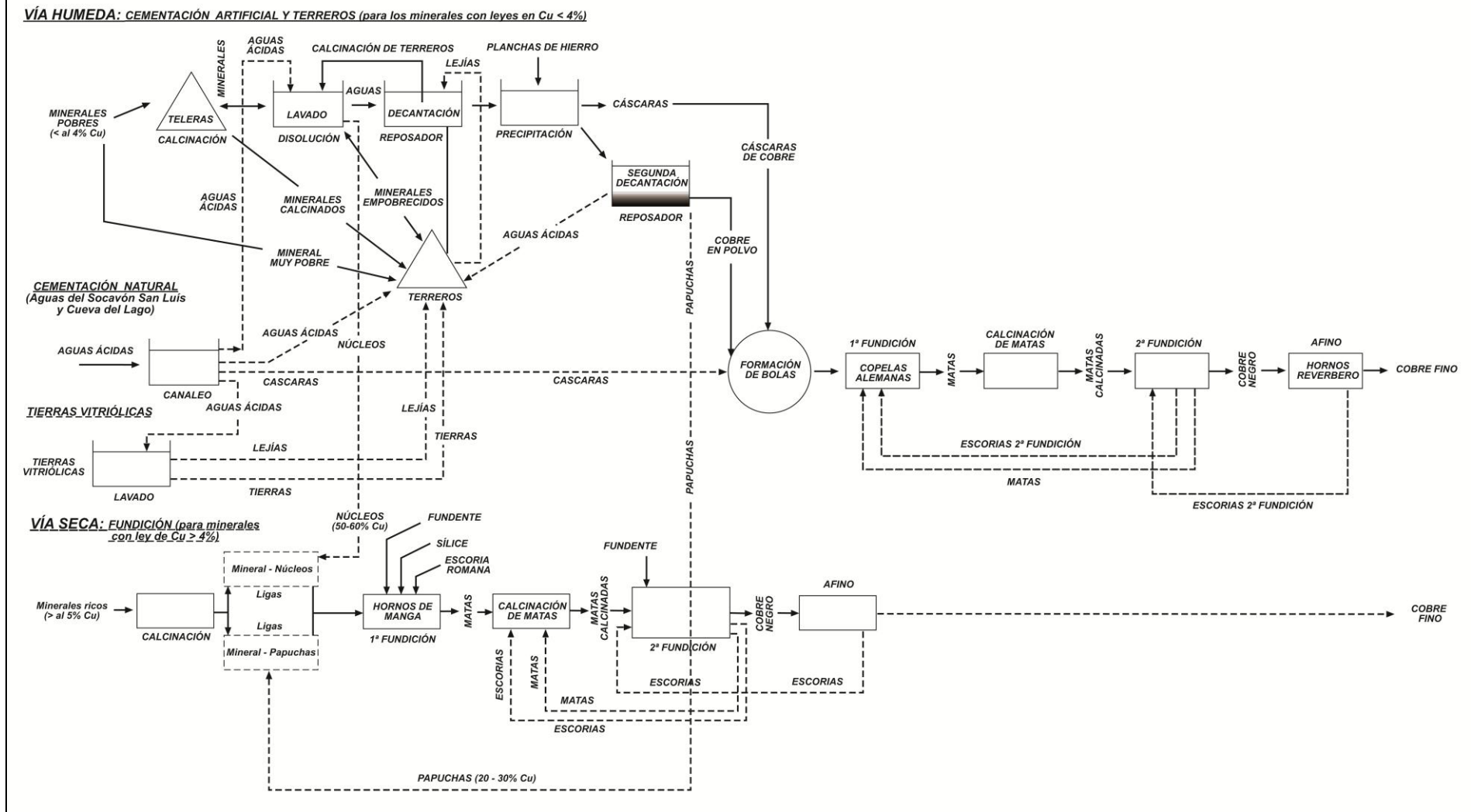


Figura 7: Plan de beneficios de los minerales de Riotinto propuesto por Rúa Figueroa.

Figure 7: Ores extraction plan from Riotinto proposed by Rúa Figueroa.

Contaba Rúa Figueroa (1868) como anécdota, que en la exposición universal de París de 1867, había visto un toral de cobre de Riotinto con el calificativo de cobre fino a punto de aleaciones. A su lado figuraban, del mismo establecimiento, los siguientes ejemplares:

- Toral de mata procedente de la fundición de minerales crudos y calcinados ricos, núcleos y papuchas.
- Mata rica de la fundición de matas calcinadas.
- Cobre negro de fundición de matas calcinadas.

No existiendo fundición por matas en Riotinto, habiendo luchado por implantarla, y hecho pruebas que demostraban su viabilidad técnica y económica, durante el periodo en que fue director facultativo del establecimiento, lo de la exposición universal de París era una tremenda ironía.

En la Tabla VIII se refleja las producciones de mineral, cobre fino y recuperaciones del periodo 1849-1872.

Tabla VIII

Año	Tn de mineral extraído	Cu en Kg obtenido por la Hacienda	Cu en Kg obtenido por Los Planes	Cu en Kg obtenido por La Cerda	Total cobre fino (Kg)	% Cu recuperado
1849	14.343	176.918	55.060	-	231.978	1,617
1850	24.875	199.634	179.736	-	379.370	1,525
1851	30.176	255.613	310.929	20.082	586.624	1,944
1852	28.507	214.631	280.386	185.145	680.162	2,385
1853	24.719	130.390	292.601	120.404	543.395	2,198
1854	39.513	207.885	367.398	156.015	731.298	1,850
1855	37.693	230.937	374.083	189.827	794.847	2,108
1856	37.984	287.224	249.720	215.327	752.271	1,980
1857	38.108	217.352	223.157	217.171	657.680	1,725
1858	45.220	270.453	221.392	190.176	682.021	1,508
1859	59.115	482.762	230.776	285.054	998.592	1,689
1860	72.244	697.274	206.507	-	903.781	1,251
1861	80.988	937.079	253.826	-	1.190.905	1,470
1862	76.615	1.004.114	155.680	-	1.159.794	1,513
1863	89.694	1.335.000	-	-	1.335.000	1,488
1864	74.234	1.046.000	-	-	1.046.000	1,409
1865	66.156	1.025.000	-	-	1.025.000	1,549
1866	62.312	1.135.000	-	-	1.135.000	1,821
1867	50.480	879.000	-	-	879.000	1,741
1868	52.036	1.123.000	-	-	1.123.000	2,158
1869	60.530	974.000	-	-	974.000	1,609
1870	67.075	1.012.000	-	-	1.012.000	1,508
1871	55.600	860.000	-	-	860.000	1,546
1872	62.220	804.000	-	-	804.000	1,292
Totales	1.250.427	15.505.266	3.401.251	1.579.201	20.485.718	1,63

Tabla VIII: *Producciones de mineral, cobre fino y recuperaciones de cobre del periodo 1849-1872 (Según Flores Caballero, 1983 b)*

Table VIII: *Mineral productions, fine copper and copper recoveries of 1849-1872 periods (Flores Caballero, 1983b)*

Con motivo de la aprobación de la venta de las minas, la Comisión de Tasación en un párrafo de su memoria decía en 1870:

“Los trabajos modernos son mezquinos, e imperfectos nuestros sistemas de beneficio, comparados con las labores y fundiciones de los romanos, en cuyas escorias no se encuentra cobre, mientras que por el sistema que forzosamente se sigue hoy en Riotinto, por falta de combustible y vías de comunicación, se pierde cerca de la mitad del cobre que contiene el mineral. Los romanos cruzaron el país de calzadas, de las que quedan algunos restos, en un estado sobresaliente de conservación.

Los explotadores modernos han talado los montes sin reponerlos, y el abandono respecto a vías de comunicación es tal, que para entrar en Riotinto no hay ni una sola vereda, ni siquiera se ha podido abrir un ramal de tres cuartos de legua para reunir las minas del Estado a un carril construido por las empresas particulares para conducir los productos de sus minas a Sevilla.”

Vendidas las minas a la RTCL en 1873, en 1875 ya tenían en uso el ferrocarril que enlazaba las minas con el puerto de Huelva.

CONCLUSIONES

Desde que Elhuyar visitó las minas en 1823, se fueron proponiendo nuevos métodos metalúrgicos o mejoras de los existentes, entre los que destaca la fundición por matas con la que se obtenía un mayor rendimiento en cobre y grado de afinado, así como un importante ahorro de combustible.

Estas propuestas de mejoras fueron desoídas por el Gobierno, por lo que el yacimiento no daba todas las utilidades de que era capaz, lo que le llevó a tomar la decisión de venderlo a los ingleses.

Con el abandono en que el Estado había tenido siempre a Riotinto y su venta a los ingleses de las minas, perdió Huelva y España una oportunidad de industrialización, a través de una industria metalúrgica y química, que con la fabricación de abonos y consiguiente desarrollo de la agricultura hubiese sacado al país del gran atraso en que se encontraba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANCIOLA, A. L. y DE COSSÍO, E. (1856) *Memoria sobre las minas de Río Tinto presentada al gobierno de S.M.* 168 pp. Madrid.

CÍA, P. (1853) Sobre el beneficio de los minerales de Fahlun (Suecia) y resultados que daría su aplicación en Río-Tinto. *Revista Minera*, Tomo IV. Madrid.

ELHUYAR, F. (1852) *Memoria sobre las minas nacionales de Río-Tinto, presentadas al Gobierno de S. M.* 109 pp. Madrid.

ELHUYAR, F. (1854) Relación de las minas de cobre de Río-Tinto. *Revista Minera*, Tomo V. Madrid.

ELHUYAR, F. (1859) Recopilación de las publicaciones sobre las minas de Río-Tinto. *Revista Minera*, Tomo X. Madrid. 1859

ESCOSURA, L. (1845) De la fundición de los minerales de las minas de Río-Tinto. *Anales de Minas*, Tomo III. Madrid.

- EZQUERRA DEL BAYO, J. (1851) Observaciones sobre el estado y mejoras que admiten las labores de beneficio de Río-Tinto. *Revista Minera*, Tomo II. Madrid.
- FERNÁNDEZ, E. (1861) Rápida ojeada a las minas de Río-Tinto y recopilación de lo principal que se ha publicado acerca de ellas. *Revista Minera*, Tomos XII, XIII y XIV. Madrid.
- FLORES CABALLERO, M. (1983a) *La rehabilitación borbónica de las minas de Riotinto*. Diputación Provincial de Huelva. 126 pp.
- FLORES CABALLERO, M. (1983b) *Riotinto: La fiebre minera del XIX*. Huelva. 218 pp.
- GÓMEZ DE SALAZAR, I. (1870) Río-Tinto. *Revista Minera*, Tomo XXI. Madrid.
- MAMBY, O.E., (1851) Noticias sobre las minas de Río-Tinto. *Revista Minera*, Tomo II. Madrid.
- MARTÍNEZ ALCÍBAR, A. (1852) Propuesta de sulfatización indirecta de los minerales de cobre. *Revista Minera*, Tomo III. Madrid.
- MARTÍNEZ ALCÍBAR, A. (1863) Nuevos procedimientos para el beneficio de los minerales de cobre con ganga de pirita de hierro". *Revista Minera*, Tomo IV. Madrid.
- RIECKEN, G. (1857) *Observaciones a cerca de la importancia industrial de las antiguas minas de cobre en el mediodía de España y Portugal*. Madrid.
- RÚA FIGUEROA, R. (1852) Estudio comparativo entre los métodos de cementación artificial y fundición aplicados a los minerales de cobre de Río-Tinto. *Revista Minera*, Tomo III. pp. 16-58. Madrid.
- RÚA FIGUEROA, R. (1859) Ensayo sobre la historia de las minas de Río-Tinto. Madrid.
- RÚA FIGUEROA, R. (1868) Minas de Río-Tinto. Estudios sobre la explotación y el beneficio de sus minerales. Madrid.

Manuscrito original recibido el 14 de junio de 2012

Publicado: 25 de junio de 2012