

REVISTA DE HISTORIA NAVAL

SUPLEMENTO NÚM. 37



EL REAL HORNO DE CARBONIZACIÓN CONSTRUIDO POR
EL INGENIERO DE MARINA FERNANDO CASADO DE TORRES
EN LA RIERA (LANGREO, ASTURIAS), UN PROYECTO
DE TECNOLOGÍA PUNTERA EN LA ESPAÑA DE LAS LUCES

Año XLI

2023

Núm. 160

INSTITUTO DE HISTORIA Y CULTURA NAVAL
ARMADA



MINISTERIO DE DEFENSA

INSTITUTO DE HISTORIA Y CULTURA NAVAL
ARMADA ESPAÑOLA

REVISTA DE HISTORIA NAVAL

EL REAL HORNO DE CARBONIZACIÓN
CONSTRUIDO POR EL INGENIERO DE MARINA
FERNANDO CASADO DE TORRES
EN LA RIERA (LANGREO, ASTURIAS),
UN PROYECTO DE TECNOLOGÍA PUNTERA
EN LA ESPAÑA DE LAS LUCES

Pelayo González-Pumariega Solís

Departamento de Explotación y Prospección de Minas
de la Universidad de Oviedo (Asturias, España)

Luis Aurelio González Prieto

Real Instituto de Estudios Asturianos (Oviedo, Asturias, España)

David González Palomares

Doctorando en el Departamento de Historia de la Universidad de Oviedo
(Asturias, España)



REVISTA DE HISTORIA NAVAL

Presidente: D. Marcial Gamboa Pérez-Pardo, vicealmirante, director del Instituto de Historia y Cultura Naval.

Director: D. José Ramón Vallespín Gómez, capitán de navío, director del Departamento de Estudios e Investigación.

CONSEJO DE REDACCIÓN:

Vocales:

D. Hugo O'Donnell y Duque de Estrada, R. Acad. Hist.^a
D. Carlos Martínez Shaw, UNED
D. Juan José Sánchez Baena, U. Murcia
D. David García Hernán, U. Carlos III
D. Enrique Martínez Ruiz, U. Complutense
D. José M.^a Blanco Núñez, cap. de navío
D.^a Magdalena de Pazzis Pi y Corrales, U. Complutense
D. Mariano Cuesta Domingo, U. Complutense
D.^a Marta García Garralón, UNED

D. José Manuel Serrano Álvarez, Universidad de Sevilla
D. Juan Escrigas Rodríguez, cap. de navío
D.^a M.^a Carmen Terés Navarro, Archivos Navales
D.^a M.^a Carmen López Calderón, Museo Naval
D. José Antonio Ocampo Aneiros, coronel
D. Juan Rodríguez-Villasante y Prieto, coronel
D. Eduardo Bernal González-Villegas, cap. de navío
D. Adolfo Morales Trueba, coronel

Secretario de Redacción: D. José Enrique Guardia de la Mora, capitán de navío.

Asesor editorial: Juan Ozores Massó.

Redacción, Difusión, Distribución y Administración: D.^a Ana Berenguer Berenguer; D. Manuel Ángel Gómez Méndez.

Publicación semestral, primer semestre de 2023.
Precio ejemplar gratuito.

Dirección postal, tfno. y c.e.:

Instituto de Historia y Cultura Naval.
Juan de Mena 1, 1.^a planta.
28014 Madrid (España).
Teléfono: 913 12 44 27.
c.e.: RHN@mde.es

NIPO 083-23-178-1 (edición impresa)
ISSN 2530-0865 (edición impresa)

NIPO 083-23-179-7 (edición en línea)
ISSN 2530-0881 (edición en línea)

Depósito legal M 21746-2023

Impreso en España. Printed in Spain.

Imprime: Ministerio de Defensa.

CUBIERTA ANTERIOR: Logotipo del Instituto de Historia y Cultura Naval.

CUBIERTA POSTERIOR: Del libro *Regimiento de Navegación*, de Pedro de Medina (Sevilla, 1563).



Catálogo de Publicaciones
de la Administración General del Estado
<https://cpage.mpr.gob.es>



<https://publicaciones.defensa.gob.es>

Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

Las opiniones emitidas en esta publicación son exclusiva responsabilidad de sus autores.

Pelayo GONZÁLEZ-PUMARIEGA SOLÍS es doctor en Geografía por la Universidad de Oviedo e ingeniero técnico en Topografía por la Universidad Politécnica de Madrid. Está adscrito al Departamento de Explotación y Prospección de Minas de la Universidad de Oviedo. En 2012 obtuvo el premio extraordinario de doctorado y el Premio Patac, concedido por el Principado de Asturias y el Ayuntamiento de Gijón, por sus investigaciones sobre el ingeniero de minas Guillermo Schulz. Interesado por las técnicas minero-metalúrgicas desde el siglo XVII al XIX, ha publicado algunos artículos sobre estas cuestiones.

Luis Aurelio GONZÁLEZ PRIETO es doctor en Filosofía del Derecho por la Universidad de Oviedo. Miembro del Real Instituto de Estudios Asturianos, sus investigaciones tratan sobre una gran diversidad de temas: historia minera e industrial de Asturias; historia bélica, en particular la Guerra Civil en Asturias; el franquismo y su filosofía política; historia del montañismo o historia rural, entre otros. Sobre todas estas cuestiones ha publicado numerosos trabajos, reflejados en su página web (luisaureliogp.com).

David GONZÁLEZ PALOMARES es graduado en Historia y actualmente doctorando con contrato de formación de profesorado universitario del Departamento de Historia de la Universidad de Oviedo (Área de Historia Contemporánea). Especialista en historia y patrimonio minero e industrial asturiano, así como en historia y patrimonio bélico, cuenta con varias publicaciones y ha impartido algunas conferencias sobre dichos temas.

La REVISTA DE HISTORIA NAVAL es una publicación periódica trimestral del Ministerio de Defensa, publicada por el Instituto de Historia y Cultura Naval, centro radicado en el Cuartel General de la Armada en Madrid, cuyo primer número salió en el mes de julio de 1983. Recoge y difunde principalmente los trabajos promovidos por el Instituto y realizados para él, procediendo a su difusión por círculos concéntricos, que abarcan todo el ámbito de la Armada, de otras armadas extranjeras, de la Universidad y de otras instituciones culturales y científicas, nacionales y extranjeras. Los autores provienen de la misma Armada, de las cátedras de especialidades técnicas y de las ciencias más heterogéneas.

La REVISTA DE HISTORIA NAVAL nació pues de una necesidad que justificaba de algún modo la misión del Instituto. Y con unos objetivos muy claros, ser «el instrumento para, en el seno de la Armada, fomentar la conciencia marítima nacional y el culto a nuestras tradiciones». Por ello, el Instituto tiene el doble carácter de centro de estudios documentales y de investigación histórica y de servicio de difusión cultural.

El Instituto pretende cuidar con el mayor empeño la difusión de nuestra historia militar, especialmente la naval —marítima si se quiere dar mayor amplitud al término—, en los aspectos que convenga para el mejor conocimiento de la Armada y de cuantas disciplinas teóricas y prácticas conforman el arte militar.

Consecuentemente la REVISTA acoge no solamente a todo el personal de la Armada española, militar y civil, sino también al de las otras Marinas, mercante, pesquera y deportiva. Asimismo recoge trabajos de estudiosos militares y civiles, nacionales y extranjeros.

Con este propósito se invita a colaborar a cuantos escritores, españoles y extranjeros, civiles y militares, gusten, por profesión o afición, tratar sobre temas de historia militar, en la seguridad de que serán muy gustosamente recibidos siempre que reúnan unos requisitos mínimos de corrección literaria, erudición y originalidad fundamentados en reconocidas fuentes documentales o bibliográficas.

**EL REAL HORNO DE CARBONIZACIÓN
CONSTRUIDO POR EL INGENIERO DE MARINA
FERNANDO CASADO DE TORRES EN LA RIERA
(LANGREO, ASTURIAS), UN PROYECTO
DE TECNOLOGÍA PUNTERA EN LA ESPAÑA
DE LAS LUCES**

Í N D I C E

	Págs.
El real horno de carbonización construido por el ingeniero de Marina Fernando Casado de Torres en la Riera (Langreo, Asturias), un proyecto de tecnología puntera en la España de las luces	9
Desarrollo de las técnicas de destilación del carbón de piedra para la obtención de alquitranes y breas	10
La búsqueda de información sobre el sistema de Dundonald para la obtención de coque y breas. <i>Espionaje industrial y experimentos en la Francia del siglo XVIII</i>	14
La transferencia a España de las técnicas de destilación del carbón. Alquitranes y breas: un insumo para la Marina española estratégico pero deficitario	17
Tentativas promovidas desde diversas instituciones	20
Los primeros hornos de obtención de coque y breas construidos en Asturias	25
Fernando Casado de Torres, pionero de la química del carbón	27
La formación científica y técnica de Casado de Torres	27
Casado de Torres, al servicio de la Marina española. Sus experimentos con el carbón mineral	32
El horno de carbonización construido por Casado de Torres en La Riera (Langreo)	41
Conclusión	55

REVISTA DE HISTORIA NAVAL

Petición de intercambio

Institución

Dirección postal

País

Teléfono

Fax

Nos gustaría intercambiar su Revista/Cuadernos:

- Revista de Historia Naval
- Cuadernos Monográficos

con nuestra publicación

.....
.....
.....
(Ruego adjunte información sobre periodicidad, contenidos... así como de otras publicaciones de ese Instituto de Historia y Cultura Naval.)

Dirección de intercambio:

Instituto de Historia y Cultura Naval
Juan de Mena, 1, 1.º 28071 Madrid
Teléfono: (91) 312 44 27
C/e: ihcn@fn.mde.es

EL REAL HORNO DE CARBONIZACIÓN CONSTRUIDO POR EL INGENIERO DE MARINA FERNANDO CASADO DE TORRES EN LA RIERA (LANGREO, ASTURIAS), UN PROYECTO DE TECNOLOGÍA PUNTERA EN LA ESPAÑA DE LAS LUCES

Pelayo GONZÁLEZ-PUMARIEGA SOLÍS
Departamento de explotación y prospección de minas
de la Universidad de Oviedo, Asturias, España
Luis Aurelio GONZÁLEZ PRIETO
Real Instituto de Estudios Asturianos, Oviedo, Asturias,
España
David GONZÁLEZ PALOMARES
Doctorando en el Departamento de Historia de la Universidad
de Oviedo, Asturias, España
Recibido: 06/02/2023 Aceptado: 22/05/2023

Resumen

El real horno de carbonización construido en 1793 en La Riera (Langreo, Asturias) por iniciativa del ingeniero de Marina Fernando Casado de Torres, fue el proyecto más importante desarrollado en el siglo XVIII en España para coquizarse el carbón mineral. En aquel momento, el coque devino fundamental por ser el combustible que precisaban los altos hornos siderúrgicos para producir hierro por el método indirecto. Asimismo, debería permitir recuperar

los subproductos derivados de la destilación de la hulla –alquitranes y breas–, que resultaban estratégicos para la Marina. Fue la culminación de una serie de acciones de espionaje, impulsadas por el gobierno de la nación desde mediados de siglo, para alcanzar el desarrollo tecnológico-industrial iniciado en Gran Bretaña y evitar la pérdida de la carrera armamentística. Casado llevó a cabo novedosos experimentos que permiten situarlo entre le élite de la comunidad científica de la época. Pero la Marina se reservó sus resultados, y un cúmulo de circunstancias adversas impidieron que su horno alcanzara los ambiciosos objetivos previstos.

Palabras clave: Fernando Casado de Torres, horno de carbonización, carbón de piedra, coque, alquitranes y breas.

Abstract

The Royal Carbonization Furnace built in 1793 in La Riera (Langreo, Asturias) on the initiative of the Navy engineer Fernando Casado de Torres, was the most important project developed in the 18th century in Spain to obtain coke. At the end of that century, coke became essential as it was the fuel required by steel blast furnaces to reduce iron ore by the indirect method. It should also allow the recovery of by-products derived from the distillation of coal –tars and pitches–, which were strategic for the Navy. It was the culmination of a whole series of espionage actions, promoted by the nation's government since the middle of the century, to ensure that Spain did not drop the incipient technological-industrial development initiated in Great Britain and thus avoid the loss of the arms race. Casado carried out innovative experiments that placed him among the elite of the scientific community of the time. But the Navy reserved its results and a host of adverse circumstances prevented its furnace from reaching the ambitious targets set.

Keywords: Fernando Casado de Torres, coke furnace, stone coal, coke, tars and pitches.

Desarrollo de las técnicas de destilación del carbón de piedra para la obtención de alquitranes y breas

LOS primeros intentos de desazufar el carbón de piedra surgieron a finales del siglo XVI en Gran Bretaña, como respuesta a la crisis energética a la que irremediamente abocaba la escasez de carbón vegetal. La sobreexplotación de los bosques, provocada por la gran cantidad de usos industriales y domésticos en los que se empleaban las leñas y maderas, hizo apremiante encontrar una fuente de energía alternativa (MANTOUX, 1906; NEF, 1977). Las islas británicas contaban con abundantes yacimientos de carbón de

piedra, pero su utilización en crudo, tal como se extraía de las minas, no era compatible con los usos domésticos e industriales, debido a las impurezas (azufre, betunes, piritas, etc.) que contenía. Esto obligó a buscar procedimientos que permitieran depurarlo, manteniendo prácticamente intacto su gran poder calorífico, hasta llegar a obtener el coque de forma totalmente empírica¹. A lo largo del tiempo se fueron desarrollando diferentes métodos de coquización, primero mediante la torrefacción al aire libre en montones o pilas, al igual que se hacía con el carbón vegetal, y más tarde en hornos provistos con cámaras de ladrillo. En ambos casos, los componentes bituminosos se volatilizaban con el calor, sin obtener ningún provecho de ellos.

En la época preindustrial, los betunes eran productos imprescindibles para la construcción naval, ya que se utilizaban tanto en el calafateado y carenado de los barcos (ARANDA, 1999) como en la impermeabilización de las jarcias (DÍAZ, 2020). También se empleaban para proteger de la corrosión las piezas de hierro, incluyéndose entre sus aplicaciones el recubrimiento de los proyectiles de artillería y del interior de los cañones (GÁMEZ, 2018). Bajo ese nombre genérico se englobaban hasta cuatro productos: brea negra, brea rubia, resina y alquitrán, siendo este último el de mayor consumo². Para su aplicación solían mezclarse con distintas grasas, utilizándose habitualmente el sebo de animales herbívoros y el saín o grasa de ballena (QUINTERO, 2007). Por aquel entonces, los betunes se obtenían mediante la descomposición térmica de maderas resinosas, cuyo suministro se encontraba prácticamente monopolizado por las potencias bálticas (CLOW, 1942). Así pues, a medida que el uso del coque se empezó a generalizar, surgió el interés por recuperar los productos aceitosos volátiles que se desprendían durante su obtención.

Ya en 1680, el químico alemán Johann Joachim Becher había inventado el método de destilación *per descensum*, que permitía obtener carbón desazufrado (*coucke*), alquitrán y brea quemando carbón mineral en un recipiente cerrado y calentado externamente (FORBES, 1970). Sin embargo, el procedimiento resultaba muy oneroso, ya que consumía una gran cantidad de carbón, por lo que este y otros intentos similares no tuvieron continuidad en aquel momento.

Durante el transcurso de la guerra de los Siete Años, el capitán de artillería francés Blanc Dangenoust intentó en 1758 purificar carbón mineral en la localidad de Saurbrick (Alsacia), empleando unos hornos cerrados para beneficiar también los betunes y obtener alquitrán siguiendo el sistema descrito por Becher, pero el ensayo no tuvo éxito (RYSS-PONCELET, 1811).

(1) El coque es el producto sólido y poroso que resulta de la destilación seca, a alta temperatura, de un carbón o, más habitualmente, de una mezcla de carbones bituminosos. Durante el proceso se eliminan las materias volátiles y se incrementa el contenido de carbono fijo. Las propiedades del coque dependerán de las materias primas de partida, de las características del horno empleado y del método operativo que se aplique para su obtención (ARDILA, 2013).

(2) La brea rubia se utilizaba para untar la arboladura; la negra, para sellar las ranuras entre las tablas del casco de los navíos en la operación de calafateado, y el alquitrán, fundamentalmente para la impermeabilización de las jarcias.

En la década siguiente, el luxemburgués Roederer, apoyado por el príncipe de Nassau-Saarbrücken, consiguió instalar en las forjas de Sulzbach (Sarre) nueve hornos en batería para producir coque y breas mediante la destilación *per descensum*. Basados en los «hornos de taza» (*fourneaux de coupelle*), utilizados para purificar el oro y la plata (MORAND, 1768-1779), estaban contruidos con ladrillos refractarios y cerrados por tapas metálicas. El betún desprendido por el calor se recogía mediante un tubo y, refrigerándose en un recipiente de hierro, se convertía en alquitrán (GENSSANE, 1770 y 1779). Estos hornos, aunque tampoco resultaron rentables, suscitaron un gran interés y recibieron numerosas visitas de técnicos y científicos.

Por otra parte, a comienzos del siglo XVIII, Gran Bretaña, fomentando la producción en las colonias de América del Norte, había conseguido romper su dependencia de las importaciones de alquitrán de origen vegetal para uso marítimo procedentes de Suecia. Pero, a mediados de la década de 1770, el comienzo de la guerra de Independencia de los Estados Unidos puso en peligro el suministro, por lo que la obtención de alquitrán por destilación del carbón mineral volvió a cobrar interés. Así, en los hornos de coquización de Sheffield, Coalbrookdale y Newcastle se intentó poner en práctica un sistema para obtener betunes a partir del carbón mineral que había sido patentado en Gran Bretaña, en 1772, por el alemán Christian Wilhem Baron Van Haake (ANÓNIMO, 1857; PAUL, 1863). Igualmente, en 1779 George Dixon II, propietario de una mina de carbón e ingeniero de Durham, logró fabricar alquitrán de hulla, y ese mismo año John Champion obtuvo una nueva patente. Pero estos intentos acabaron fracasando por el elevado coste de producir y transportar el alquitrán a los puertos (TOMORY, 2011).

De esta forma, no fue hasta 1780 cuando Archibald Cochrane, noveno conde de Dundonald (fig. 1), consiguió desarrollar en Upper Cranston (Escocia) un novedoso sistema de destilación del carbón de piedra que permitía extraer de forma provechosa varios subproductos, de los cuales el alquitrán era el más apreciado por su utilidad para impermeabilizar el casco de las embarcaciones. El horno diseñado por Dundonald tenía forma de paraboloide y debajo de él se disponía un cono invertido que actuaba de cenicero, quedando separadas ambas partes por una rejilla. Las paredes del paraboloide contaban con una serie de orificios a diferentes alturas que permitían al aire circular desde el exterior hacia el interior, de manera que, abriéndolos y cerrándolos convenientemente, se controlaba el grado de combustión. La parte superior del horno presentaba dos aberturas: una axial, cubierta con una tapa de listones por la que se introducía el carbón, y otra lateral, que comunicaba por medio de una tubería con una gran cámara de condensación. Esta, a su vez, estaba unida secuencialmente mediante sendos tubos con otras dos cámaras, contando la última con una chimenea muy estrecha y alta.

El horno tenía capacidad para unas siete toneladas de carbón. Una vez cargado, se abría el cenicero y se encendía el carbón de la parte inferior a través de la parrilla. Cuando estaba ardiendo, se cerraba herméticamente el cenicero y se abría la primera fila de orificios laterales. Una vez que las brasas llegaban a

esta altura, se tapaban estos orificios y se abrían los del siguiente nivel, y así sucesivamente hasta que prendía el carbón de la parte superior, momento en el que todo el horno se dejaba ocluido. De esta manera, el fuego subía gradualmente a través de la masa de material combustible, que se iba purificando y desprendiendo de los productos volátiles resultantes de la coquización. Estos pasaban a las cámaras de condensación a través de los conductos de comunicación, donde eran recolectados y se podían extraer mediante un grifo dispuesto en el fondo de los receptáculos, disipándose el gas hidrógeno carbónico por la chimenea. En la primera cámara generalmente solo se condensaba agua cargada de amoníaco, que a veces contenía algo de alquitrán en solución. La mayor cantidad de este producto se obtenía en las dos últimas cámaras (HASSENFRAZ, 1791).

Dundonald afirmó que, además de alquitrán de excelente calidad, brea, aceite esencial y barniz de carbón, el procedimiento que había descubierto también permitía extraer otros derivados, como coque, negro de humo, álcali volátil (amoníaco), muriato de amoníaco (sal amoniacal común), sal de glauber (sulfato amoniacal) y sosa (COCHRANE, 1785). Todos ellos tenían utilidad en diversas aplicaciones industriales e incluso en alguna medicinal. Animado por los resultados conseguidos, en 1780 constituyó con otros socios The British Tar Company, para llevar a cabo la destilación del carbón a gran escala y obtener todos esos subproductos en cantidades importantes. En 1792 ya disponían de sendas exitosas fábricas de alquitrán en Bradley Ironworks, Tipton y Dudley Wood. Dos años después construyeron otra fábrica en Bells Close, Walker upon Tyne, cerca de Newcastle. En 1795, cuando su patente iba a caducar, otros empresarios comenzaron a construir nuevos hornos para fabricar alquitrán (LUTER, 2006).

Estos avances, unidos a toda una serie de innovaciones tecnológicas en el campo de la siderurgia, permitieron que Gran Bretaña pudiera proveerse de hierro y alquitranes en abundancia y a precios mucho más económicos que el resto de las potencias europeas, lo que a la postre le proporcionó el predominio militar y marítimo sobre sus rivales (CIPOLLA, 1967). De esta forma, las nuevas tecnologías inglesas de destilación del carbón de piedra pasaron a



Fig. 1. Retrato del conde de Dundonald, inventor del horno de destilación del carbón de piedra con recuperación de subproductos

convertirse en un codiciado objetivo del espionaje industrial de la época (HARRIS, 1991; BRADLEY, 2010).

No obstante, es preciso tener en cuenta que, en el último cuarto del siglo XVIII, la química estaba empezando a dar sus primeros pasos para convertirse en una ciencia propiamente dicha, proceso en el que resultarían fundamentales los experimentos sobre la combustión llevados a cabo por Antoine Lavoisier y la posterior publicación que hizo, junto con Louis-Bernard Guyton de Morveau, Claude Louis Berthollet y Antoine François de Fourcroy, de su revolucionario *Méthode de nomenclature chimique* (1787)³. En este contexto, y prácticamente a la vez que se estaba poniendo en marcha la empresa de Dundonald, el profesor de química del Trinity College (Cambridge) Richard Watson trató el tema de la destilación destructiva del carbón en uno de los trabajos de sus *Chemical essays* (1781-1787). En él planteó la posibilidad de que la cantidad de productos oleosos susceptibles de ser extraídos por destilación del mismo tipo de carbón podría verse influenciada por la forma de realizar la operación, y que con diferentes tipos de carbón las cantidades podrían ser muy diversas. Estas observaciones serían respaldadas más tarde por los resultados de los experimentos publicados por Balthasar-Georges Sage en 1789 y Richard Kirwan en 1796. Aun así, el conocimiento de los aceites obtenidos a partir del carbón mineral continuó siendo escaso hasta el primer tercio del siglo XIX (PAUL, 1863).

La búsqueda de información sobre el sistema de Dundonald para la obtención de coque y breas. Espionaje industrial y experimentos en la Francia del siglo XVIII

Francia no fue consciente de la importancia que tenía el empleo del carbón mineral en la metalurgia hasta mediados del siglo XVIII, cuando en Gran Bretaña ya se estaba generalizando el uso del coque en los altos hornos y el del carbón crudo en los hornos de reverbero, para conseguir hierros en gran cantidad y a precio más económico. Tras el intento infructuoso llevado a cabo en 1758 por Dangenoust de utilizar carbón mineral desazufrado *per descensum* en la fundición de hierro, seis años después el gobierno francés comisionó al ingeniero Gabriel Jars para que pasara a Gran Bretaña en un viaje de espionaje industrial. Uno de sus objetivos era adquirir los conocimientos necesarios para emplear dicho combustible en las operaciones metalúrgicas, por lo que visitó las fundiciones de Carron, Clifton y Newcastle (JARS, 1774-1781). De vuelta a Francia, en 1769 consiguió obtener coque y aplicarlo con éxito tanto en la

(3) Fue precisamente en esta obra en la que acuñaron el nombre del elemento químico *carbano*, «para poner aún más precisión en la denominación de este radical, distinguiéndolo del carbón en la aceptación vulgar, aislándolo, por el pensamiento, de la pequeña porción de materia extraña que normalmente contiene, y que constituye la ceniza, le adaptamos la expresión modificada de carbono [“carbano” en el texto original en francés], que indicará el principio puro y esencial del carbón, y que tendrá la ventaja de precisarlo con una sola palabra, para evitar cualquier ambigüedad».

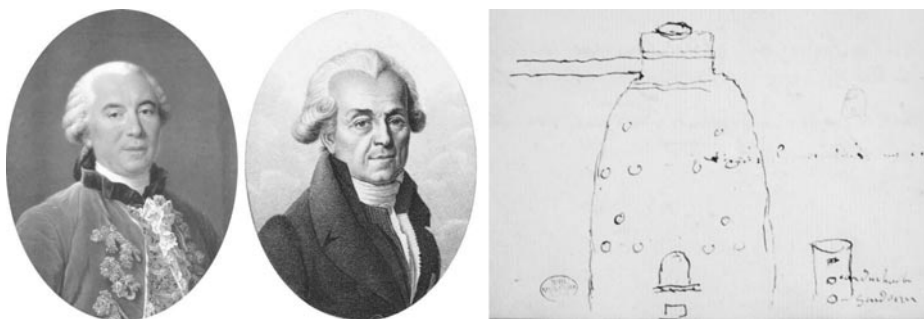


Fig. 2. Retratos del conde de Buffon y de Faujas de Saint Fond, y dibujo del horno de destilación de carbón de la fundición de Carron (Escocia) realizado por este último (FUENTE: COMPARATO, 2018)

fundición de cobre como en la de hierro, aunque el procedimiento que empleó fue el de carbonización en pilas al aire libre (JARS, 1770). Su prematura muerte ese mismo año privó a Francia de su valiosa experiencia, pero la publicación póstuma de las memorias que redactó durante sus viajes despertaría el interés por esta materia en toda Europa (BALLOT, 1978).

Paralelamente, Antoine de Genssane visitó en 1768 las instalaciones de Sulzbach y redactó dos años después una memoria en la que describía minuciosamente los hornos y el proceso de destilación empleados. También proponía varios modelos de horno con los que fundir con carbón de piedra diferentes menas metálicas (GENSSANE, 1770). Aprovechando sus conocimientos, promovió varias tentativas para establecer fábricas en las que producir hierro fundido a la inglesa, aunque por diversos motivos terminaron fracasando.

De igual forma, el célebre naturalista Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon, se interesó por el procedimiento de fabricación del hierro fundido, y entre 1768 y 1772 construyó a sus expensas, en las cercanías de Montbard (Borgoña), uno de los primeros complejos siderúrgicos integrados, en el que experimentó con innovaciones técnicas y sociales. Aprovechando su cargo de intendente en el Jardin du Roy, y con el pretexto de hacer estudios naturalistas, en 1784 envió al geólogo Barthélemy Faujas de Saint-Fond a Gran Bretaña para que averiguara de forma encubierta las nuevas tecnologías siderúrgicas empleadas en aquel país (COMPARATO, 2018). Al visitar la gran fundición de cañones de Carron (Escocia), Faujas pudo observar detenidamente el procedimiento empleado para fabricar coque aplicando el método patentado por Dundonald, y consiguió hacer furtivamente algunos dibujos de los hornos de destilación del carbón mineral [FAUJAS, 1797] (fig. 2).

A poco de regresar a Francia, el 15 de abril de 1785 llevó a cabo una demostración pública de cómo se podía extraer alquitrán del carbón mineral de las minas de Decise (Nivernois) aplicando el método que había visto en Escocia. Para ello construyó en el Jardin du Roy un gran horno de destilación,

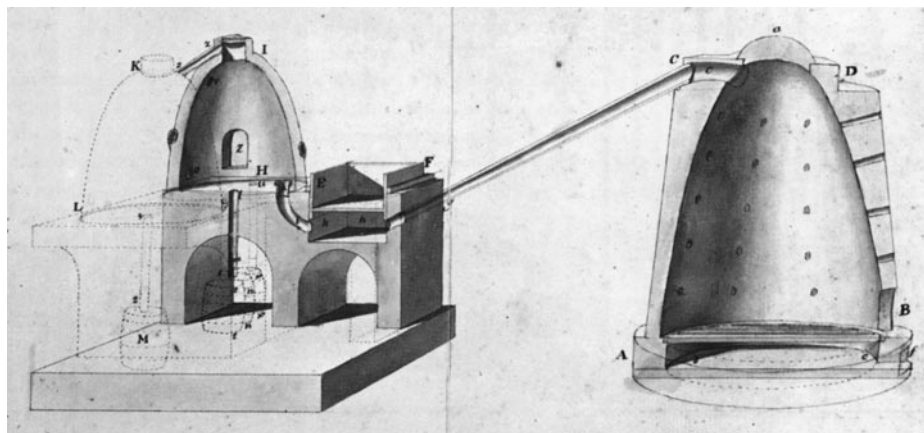


Figura 3. Dibujo del horno construido por Faujas de Saint Fond en el Jardín du Roy, realizado por Agustín de Betancourt. (FUENTE: BONET, 1988)

provisto de cámaras abovedadas y otros accesorios, con el que pudo condensar por refrigeración el humo grasoso y aceitoso desprendido en la combustión del carbón (fig. 3). A la prueba asistieron destacados miembros de la Administración, los cuales suscribieron un informe final que apareció publicado en el *Journal de Physique* de septiembre. Faujas procesó trece mil libras (6,4 toneladas) de carbón, obteniendo aproximadamente un 4 por ciento de alquitrán (252 kg) y una cantidad no especificada de álcali volátil (amoníaco). Como prueba de la utilidad del alquitrán mineral, presentó una barca y unas cuerdas que habían sido tratadas por Claude François Parossel, maestro marinero de los puentes de la ciudad de París, quien declaró que había necesitado un tercio menos que de alquitrán vegetal para cubrir la misma superficie. Asimismo, Faujas afirmó que las cenizas resultantes, muy ligeras y depuradas del azufre, eran un excelente «coaks» que podría ser empleado sin problemas en los altos hornos de fundición (ANÓNIMO, 1790; COMPARATO, 2018).

Adicionalmente, para demostrar la idoneidad del proceso se encargó a Antoine Lavoisier y Claude Louis Berthollet, prestigiosos miembros de la Académie royal des sciences, que analizaran los resultados. Estos dictaminaron que «el aceite de Faujas» penetraba bien en la madera y la preservaba mejor de la humedad y la acción de los insectos que el de origen vegetal, por lo que consideraban que tendría gran utilidad en la construcción naval. Sin embargo, creían que el alquitrán ordinario resultaba más apropiado para los cordajes, ya que mantenía mejor su flexibilidad y evitaba más eficazmente los efectos de la fricción de sus partes. También estimaron que se podría reducir la pérdida de alquitrán gestionando mejor la combustión del carbón, y que el procedimiento solo se podría generalizar si los resultados conseguidos fueran perdurables en el tiempo, ya que no era barato (LAVOISIER y BERTHOLLET, 1790).

El éxito de la prueba y las influencias de Buffon propiciaron que de inmediato Faujas fuera nombrado comisionado para la inspección de todos los establecimientos relacionados con la depuración del carbón mineral y la extracción de alquitrán, encontrándose entre sus funciones la de reconocer los carbones de piedra a los que el proceso de destilación resultara más aplicable. Ya en julio Buffon ordenó dismantelar el horno, evidenciando que su utilidad era solamente experimental (COMPARATO, 2018). La correspondencia que mantuvo con Faujas permite colegir que su intención era demostrar las posibilidades que ofrecía el procedimiento de destilación del carbón de piedra, a fin de despertar el interés de potenciales socios capitalistas con los que crear una nueva empresa industrial, ya que en aquel momento pretendía desvincularse de la titulada «Compagnie d'épurement de charbon de terre», en la que participaba con otros influyentes personajes y que le había producido cuantiosas pérdidas económicas⁴ (ANÓNIMO, 1781-1786).

Aprovechando el cargo de su discípulo, en diciembre de ese mismo año Buffon le pidió a Faujas que pasase por Montcenis, en el centro de la cuenca carbonífera de Borgoña, para examinar la calidad de aquel carbón y ver si podría proporcionar betún (NADAULT DE BUFFON, 1860). Pero todos sus esfuerzos fueron vanos, ya que la compañía no salió adelante. Buffon falleció en 1788 y, tras el advenimiento de la república, Faujas reorientó su actividad académica hacia la geología. No obstante, en 1790 consiguió publicar un libro titulado *Essai sur le goudron du charbon de terre*, en el que, tras repasar los antecedentes históricos sobre la obtención del alquitrán mineral, detallaba la manera de emplearlo para carenar las embarcaciones y su utilidad en varias artes, si bien la obra tuvo escasa repercusión práctica.

La transferencia a España de las técnicas de destilación del carbón. Alquitranes y breas: un insumo para la Marina española estratégico pero deficitario

Tras la instauración de la monarquía borbónica, España rivalizó con Gran Bretaña y Francia por mantener el predominio en los mares del mundo. Para ello, el país tuvo que dotarse de modernos astilleros en los que construir, pertrechar y reparar los buques de guerra que le permitieran proyectar su poder militar y controlar el comercio ultramarino mediante una potente Armada Real. Entre las materias primas esenciales para lograr este objetivo se encontraba el coque, con el que los británicos fundían ya los nuevos cañones de hierro que habrían de sustituir a los onerosos de bronce (SANJURJO, 2007), así como los alquitranes y breas necesarias para mantener la estructura de la obra viva de los navíos e impermeabilizar los cabos y jarcias.

Sin embargo, a pesar de la importancia que tuvieron los betunes dentro del conjunto de pertrechos que necesitaba la Armada, y a diferencia de lo que

(4) Cartas del 16 de agosto de 1785 y 18 de enero de 1786 (NADAULT DE BUFFON, 1860).

ocurre con otro funcionalmente relacionado como el cáñamo, apenas hay trabajos dedicados al estudio de la brea y el alquitrán durante la época ilustrada, habiéndose centrado la historiografía resinera preferentemente en la etapa contemporánea (DELGADO, 2015).

Por aquel entonces, el grueso de la producción betunera procedía de los países bálticos. Desde allí se comercializaba y distribuía a través de Ámsterdam, y más tarde desde Londres, aprovisionándose la Marina mediante asientos con comerciantes nacionales y extranjeros. Pero esta política no garantizaba el suministro, sobre todo en tiempos de guerra, y dejaba a España en una arriesgada situación de dependencia, al quedar un insumo estratégico en manos de países que habían sido enemigos desde el siglo XVI (GARCÍA, 2006).

Las políticas reformistas borbónicas se dirigieron, pues, a conseguir un sistema de aprovisionamiento basado en la administración directa, lo que requería disponer de un inventario de los recursos disponibles. Así, a mediados de la década de 1730 se empezaron a realizar comisiones para el reconocimiento de los bosques útiles para la Marina. De los informes resultantes destaca el fechado en 1739 y titulado «Diario, especulación y conocimiento hecho por el Capitán de Fragata D.^o Juan de Valdés y Castro en el Principado de Cataluña, Reyno de Aragón, y de Navarra, de los Ríos, Riveras, Fábricas de Jarcia, Alquitranes, Betunes, Árboles, y cosechas de Cáñamos de cada Pueblo», ya que enumera las pequeñas fábricas de betunes existentes para el consumo de los lugareños y señala las posibilidades que ofrecían las más ventajosas⁵.

Ya en 1745 se realizó una visita general a los bosques próximos a la costa por oficiales de la Marina, lo que permitió publicar tres años después la ordenanza conocida como de montes y plantíos. En su artículo LXXVII manda que en los Montes de Tortosa se conserven y aumenten los pinares para arboladura y fábrica de betunes, mientras que el LXXVIII restablece la elaboración de «pez y alquitrán» por los vecinos de Tortosa bajo licencia. Para aumentar la producción y poder abastecer a los arsenales de la Península se llegaron a crear otras dos fábricas de brea y alquitrán, en Castril de la Peña (Granada) en 1759 y en Quintanar de la Sierra (Burgos) en 1778. Todas ellas se encontraban próximas a zonas boscosas, ya que empleaban la resina de los pinos como materia prima.

Por otra parte, los planos elaborados para los diferentes proyectos de construcción o reforma de los reales arsenales permiten comprobar que,

(5) Archivo General de Simancas (AGS), Secretaría de Marina, 553, Diario de Juan Valdés y Castro, 1739; cit. por MARTÍNEZ, 2014. El informe se incluyó en el «Plano topográfico con la explicación de todos los lugares de Cataluña, Aragón, Navarra y Castilla donde se cultiva y recoge cáñamo, y la cantidad anual que hacen; los hornos de alquitrán, brea y betún; la descripción de los ríos Ebro, Zinca, Segre, Aragón, Gálligo y Esca con todos los montes de bosques inmediatos a estos ríos propios para la construcción de los navíos». Fechado en 1740 por Juan Joseph Navaro, comandante general del departamento marítimo de Cádiz, constituye la doble lámina núm. 21 y 22 del *Diccionario con la configuración o anatomía de toda la arquitectura naval moderna* (1719-1759), conservado en el Museo Naval de Madrid (sign.: AMN, Pl 235) [RUIZ, 2018].

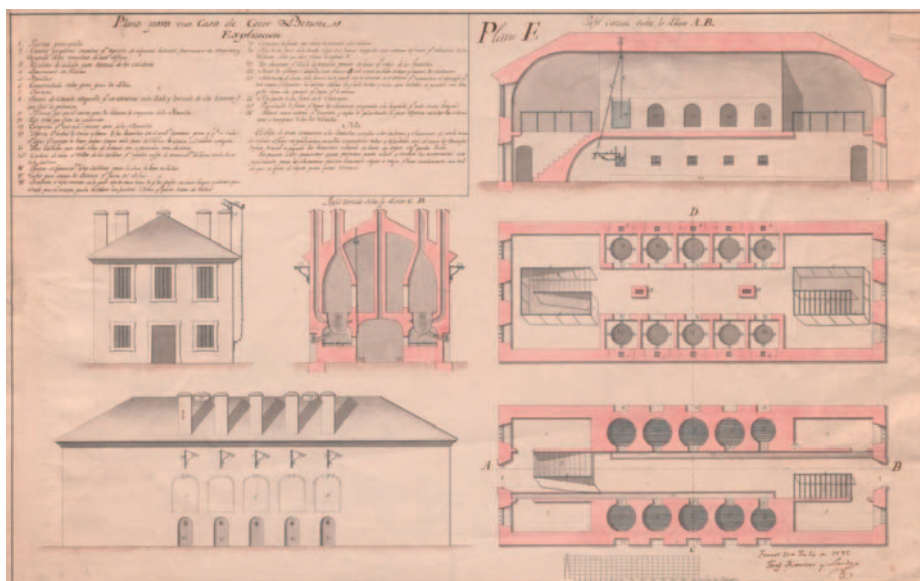


Fig. 4. Plano de una casa de cocer betunes para el arsenal de Ferrol, provista de diez calderas para toda clase de estas sustancias, proyectada por el comandante de Ingenieros de Marina, José Joaquín Romero. (FUENTE: Museo Naval de Madrid)

además de diques o gradas de carenado y cordelerías o fábricas de jarcia y lonas, se contemplaban también otras infraestructuras menores, pero imprescindibles, como aljibes de alquitrán, almacenes de betunes, fogones o cocedores de brea y alquitranares de jarcia y filástica⁶. Entre las obras propuestas, destacan el almacén para el Arsenal del Ferrol diseñado en 1786 por el capitán de navío Thomas Bryant, que contaba con cinco órdenes de barriles y era capaz de contener 6.300 quintales (290 toneladas) de alquitrán⁷, y la casa de cocer betunes provista de diez calderas para toda clase de productos bituminosos, planteada en 1795 por el comandante de ingenieros de Marina José Joaquín Romero y Fernández de Landa para aquel mismo astillero⁸ (fig. 4). No obstante, a pesar de todos los esfuerzos realizados, la

(6) La Ordenanza de Pertrechos promulgada en 1772 estableció la obligación de elaborar presupuestos anuales (art. 21), lo que generó una documentación de gran utilidad para estudiar las existencias de betunes en los arsenales. Así, ese mismo año el ingeniero del arsenal de Cartagena presupuestó 2.150 quintales (98,9 toneladas) de alquitrán, 1.650 (75,9 t) de brea negra y 1.188 (54,7 t) de brea rubia; mientras que en 1779 la revista del almacén general de Ferrol reflejó 795.371 libras (365,9 t) de alquitrán, 356.096 (163,8 t) de brea rubia y 114.416 (52,6 t) de brea negra (GÓMEZ, 2018).

(7) Museo Naval de Madrid, sign. MN-P-3A-20.

(8) Ibídem, MN-P-3A-17.

producción de betunes nacionales nunca fue suficiente para cubrir las necesidades de los arsenales⁹.

Tentativas promovidas desde diversas instituciones

Para asegurar un suministro regular y barato de coque y betunes, los sucesivos gobiernos se vieron abocados a tratar de adquirir y difundir, por diferentes medios, las nuevas tecnologías desarrolladas en Gran Bretaña. Para ello recurrieron al espionaje industrial (HELGUERA, 2011), la contratación de profesores y técnicos en el extranjero (PORTELLA, 1996) y el envío como pensionados de jóvenes cualificados para que realizaran viajes de estudio por los países más avanzados de Europa (LAFUENTE y PESSET, 1985). También se crearon multitud de sociedades económicas de amigos del país, siendo estas minorías cultas las que se encargarían de promover la explotación y el consumo de carbón, tras ser animadas en 1785 por el conde de Campomanes, como procurador del Consejo Supremo de Castilla, a que se dedicaran con preferencia a la búsqueda de yacimientos de dicho combustible y propusieran reglas para su aprovechamiento (COLL y SUDRIA, 1987).

Así las cosas, el periódico de carácter político y militar *El Mercurio de España* dio a conocer en mayo de ese mismo año el experimento realizado el mes anterior por Faujas en el Jardín du Roy para extraer alquitrán del carbón de piedra. La Sociedad Económica de Amigos del País de Asturias, muy interesada en la generalización del uso del abundante carbón de piedra existente en la provincia, solicitó al conde de Aranda, quien desempeñaba el cargo de embajador en París, que les enviase información al respecto (ADARO, 1981). Este trasladó el encargo a Agustín de Betancourt, que se encontraba en la capital francesa pensionado por la Corona para ampliar estudios.

Todo parece indicar que el joven ingeniero canario fue uno de los asistentes a la demostración llevada a cabo por Faujas, ya que poco después había redactado una «Memoria sobre la purificación del carbón de piedra y modo de aprovechar las materias que contiene», en la que describía detalladamente el experimento y sus resultados, que ilustró con una lámina del horno y su sistema de condensación de humos para obtener el betún. Este informe debió de ser el precedente de otro posterior titulado «Memoria sobre el método de construir y usar los hornos para extraer el betún que tiene el carbón de piedra, quedando éste purificado», que sería el remitido en 1786 por el conde de Aranda a la Sociedad Económica asturiana, aunque

(9) El catálogo de la Colección Vargas Ponce, depositada en la Real Academia de la Historia, contiene un documento de 1796 (núm. 483) cuyo título («Establecimiento de una fábrica de brea y alquitrán en los montes de Mosqueruela y sobre la importancia de las fábricas de Tortosa y Caravaca de la Cruz del ingeniero de la Croix») parece evidenciar que la Marina utilizó también la brea producida en la pedanía murciana de Archivel, así como la existencia de un proyecto para establecer otra fábrica que aprovecharía la vasta extensión de pinar de la comarca turolense de Gúdar-Javalambre.

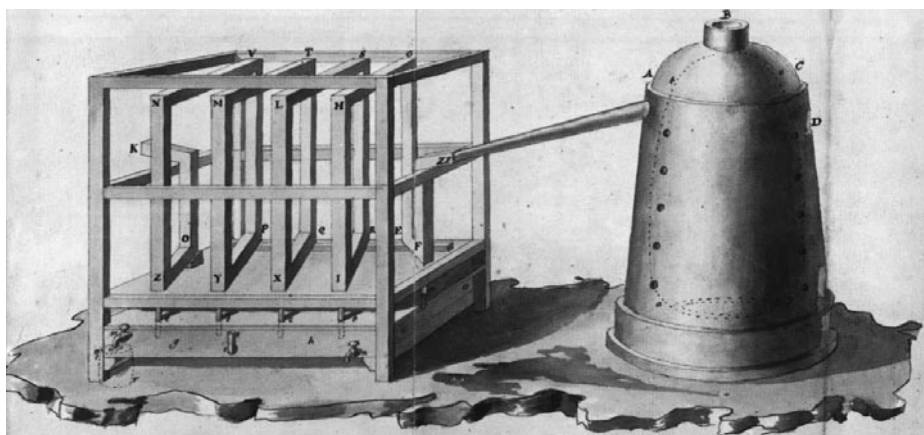


Fig. 5. Horno para extraer el betún diseñado por Agustín de Betancourt. (FUENTE: BONET, 1988)

su paradero actual se desconoce (BONET, 1988). Como muestra de agradecimiento por esta gestión, la corporación nombró a Aranda y a Betancourt socios de mérito (CRABIFOSSE, 1996a).

En la «Memoria sobre la purificación del carbón de piedra», Betancourt comparó los hornos empleados en Sulzbach y Escocia con el construido en el Jardín du Roy. Consideraba que el modelo alemán era un conjunto de retortas que consumían mucho combustible para destilar el carbón, mientras que resaltaba la economía y simplicidad del horno británico frente al francés, más «complicado, dispendioso y sujeto a continuas reparaciones», lo que hacía que solo pudiera ser manejado por personas muy experimentadas que no resultaban fáciles de encontrar.

Indicaba que el horno diseñado por Dundonald imitaba a las carboneras de leña, consistiendo en un cono truncado en el que se amontonaba el carbón de piedra, que disponía de un conjunto de respiraderos, dispuestos en varios círculos a diferente altura, con los que se regulaba la entrada de aire hacia su interior. Para recoger los productos oleosos desprendidos durante la combustión de la hulla, se dirigía el humo mediante una tubería hacia un condensador donde se depositaba la brea.

Gracias a la experiencia adquirida con los hornos de tostación de cinabrio de las minas de Almadén, que había estudiado en 1783 durante una comisión encargada por Floridablanca, Betancourt pudo advertir los defectos que presentaba el dispositivo francés y proponer una serie de modificaciones para conseguir un aparato más sencillo que mejorara la combustión del mineral, facilitara la expulsión de los vapores y optimizara la condensación y separación de los productos volátiles resultantes de la coquización.

Para ello entendía que la cámara debería tener forma cilíndrica en vez de parabólica, estar rematada con una bóveda esférica provista de una chimenea

regulable y contar con una rejilla más pequeña en su base. También creía conveniente sustituir el complicado artificio de destilación por una única tubería de sección cuadrada en forma de alambique, y añadir un gran recipiente lleno de agua para separar por decantación el alquitrán, el aceite y el álcali volátil (GOUZEVITCH, 2011). Completó su pormenorizada explicación con otras dos láminas, en las que mostraba el aspecto exterior del horno propuesto y su interior, mediante una sección vertical de todos sus componentes (fig. 5).

Por otra parte, antes de que concluyera la década, varias sociedades económicas de amigos del país adoptaron algunas iniciativas adicionales para divulgar el proceso de obtención de betunes minerales por destilación. Así, también en 1785 el secretario de la aragonesa, Diego Torres, redactó una memoria sobre el uso del carbón de piedra de las minas de Utrillas (Teruel), con la intención de demostrar su utilidad y extender su uso, tanto industrial como doméstico. Al final de la misma hacía referencia al artículo publicado por el *El Mercurio de España* en el que se daba noticia del experimento de Faujas y del horno de Dundonald, y señalaba que, si se consiguiera extraer el alquitrán del carbón, se lograría un considerable ahorro y beneficio para los arsenales y se evitaría la destrucción de los montes (TORRES, 1785).

Al año siguiente, la vallisoletana publicó un breve folleto titulado *Arte de descubrir y hacer el carbón mineral*. Era una traducción realizada por el profesor de francés Juan María Nicolás de Saint Pastous del artículo «Art du charbon mineral», inserto en el primer tomo de la *Encyclopédie Méthodique. Arts et Métiers Mécaniques*, editado por Charles-Joseph Panckoucke en 1783. En él refería la necesidad de desazufar el carbón de piedra para poder utilizarlo en los hogares e industrias, y explicaba que la operación se podía realizar en pilas carboneras o mediante hornos como los empleados en Sulzbach (SAINT PASTOUS, 1786).

Asimismo, por encargo de la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona, el director de historia natural, Joseph Comes i Bonells, publicó en 1786 una «Memoria sobre el carbón de piedra para persuadir y facilitar su uso en Cataluña»¹⁰ (GÓMEZ-ALBA, 2007). En ella advertía de la necesidad de depurar el carbón mineral de las partes bituminosas, sulfúreas y arsenicales que contenía, como paso previo a su aplicación industrial. Apuntaba también los dos procedimientos para llevar a cabo esta operación y se decantaba por la destilación, ya que permitía obtener además una brea de gran calidad. Completaba su exposición describiendo con todo detalle el tipo de horno necesario y su funcionamiento, así como una lámina del mismo [COMES, 1786] (fig. 6).

Ya en 1789, el ministro de Marina, Antonio Valdés y Fernández Bazán, encargó al ingeniero de minas Francisco Carlos de la Garza un informe sobre el descubrimiento de unos yacimientos de carbón próximos a Almadén. En el manuscrito redactado al efecto, fechado el 24 de mayo, De la Garza se apoyó

(10) La *Gaceta de Madrid* hizo una breve reseña de la publicación e informó a los interesados del punto de venta en la capital en su número 73 del 12 de septiembre de ese mismo año (p. 600).

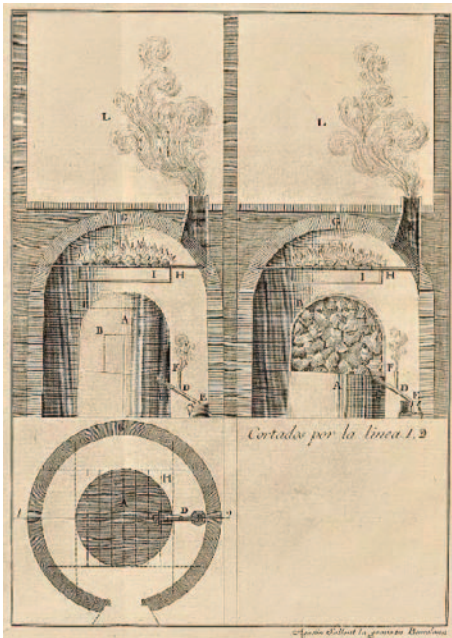


Fig. 6. Horno de destilación de carbón propuesto por Joseph Comes (1786)

en la obra de Comes, proponiendo un horno mejorado para depurar carbón «más prontamente, con menos leña y más fruto de este betún», que presentaba la novedad de condensar los productos volátiles mediante serpentines sumergidos en un estanque de agua [GARZA: 1789] (fig. 7).

Por último, en 1790 el catedrático de matemáticas de la Real Sociedad Patriótica de Sevilla, Pedro Henry, publicó un exhaustivo informe en cinco entregas sobre el carbón que se explotaba en las minas de Villanueva del Río (Sevilla). En él refería la observación hecha por Jars del método que empleaban los ingleses a fin de preparar el carbón mineral para las fundiciones en hornos cerrados, obteniendo el producto que denominaban «cinders» y recuperando «la parte untosa, con la qual fabrican su breá».

En este periodo, el director general de Artillería, conde de Lacy, se interesó también por las nuevas técnicas de fundición de metales que se estaban desarrollando en algunos países de Europa, por lo que encargó a dos profesores del Real Colegio de Artillería de Segovia, Tomás de Morla y Jorge Juan Guillelmi, que realizasen un viaje para recoger información de primera mano sobre los principales adelantos técnicos y armamentísticos (HERRERO, 1992).

En el transcurso del mismo, el 11 de abril de 1789 visitaron la avanzada fundición que John Wilkinson había instalado en Bradley (West

En este periodo, el director general de Artillería, conde de Lacy, se interesó también por las nuevas técnicas de fundición de metales que se estaban desarrollando en algunos países de Europa, por lo que encargó a dos profesores del Real Colegio de Artillería de Segovia, Tomás de Morla y Jorge Juan Guillelmi, que realizasen un viaje para recoger información de primera mano sobre los principales adelantos técnicos y armamentísticos (HERRERO, 1992).

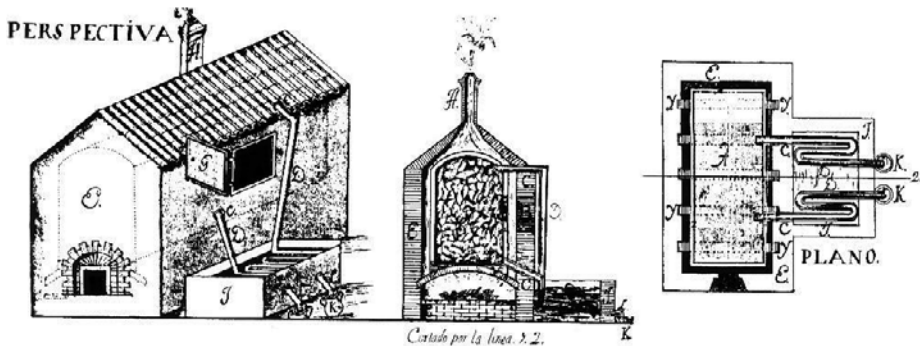


Fig. 7 (dcha.) Horno para depurar carbón ideado por Francisco Carlos de la Garza (1789)

Midlands), donde pudieron comprobar el eficaz uso que se hacía del coque. Impresionado, Morla redactó un informe titulado «Noticia del modo de preparar el carbón de tierra en las fábricas de Bradley, en el Condado de Warwick» (ANÓNIMO, 1891). En él describió la batería de veinte hornos de destilación en línea con la que se obtenía el coque. Estos eran todos iguales, estaban contruidos de ladrillo, adobes y barro, tenían forma de «botella plana por el fondo» y se disponían en línea recta, encontrándose separados cinco palmos (1,04 m) entre sí. El cuerpo cilíndrico de cada uno tenía tres varas (2,50 m) de diámetro y una y 1/2 (1,25 m) de altura; la parte cónica medía casi lo mismo de alto, mientras que el cuello tenía 2/3 de vara (0,56 m) de diámetro. La pared presentaba un espesor de 3/4 de vara (0,63 m). En el centro había una tronera cilíndrica, de media vara (0,42 m) de diámetro, que daba a un conducto inferior, provisto de una puerta exterior de hierro, por el que se encendía el horno. Además, contaban con treinta pequeños respiraderos, dispuestos en tres filas de diez situadas a diferente altura, que mediante una compuerta de hierro permitían regular el tiro una vez encendido el horno.

El carbón se cargaba por la boca superior y por una puerta frontal cuadrada, de 3/4 de vara (0,63 m) de lado, dispuesta en el cuerpo cilíndrico. Los gases desprendidos durante la combustión se dirigían por medio de un conducto, que salía a media altura del cuello del horno, hacia unos condensadores. Estos consistían en unas cajas de plomo, divididas internamente en varios compartimentos intercomunicados, sobre las que se encontraba un depósito de agua. El líquido resultante de la condensación de los productos volátiles se reunía en un depósito, mientras que el gas sulfuroso se evaporaba por unas chimeneas. El residuo sólido calcinado que permanecía en el horno era el coque, que se descargaba por la puerta frontal.

El líquido obtenido se sometía después a una doble destilación en sendas calderas de hierro provistas de un condensador refrigerado por agua, recogién-dose finalmente cuatro productos: «1.º un aceyte esencial, blanco y suelto que se dice ser mucho mejor que el de linaza p^a la pintura e imprenta. 2.º un aceite empineumático y negro bueno p^a los navíos y que tiene dicen la ventaja de matar la polilla e insectos. 3.º brea: y 4.º alquitrán». Debido a ello, Morla consideró que este procedimiento de depuración de la hulla era más útil y lucrativo que el de carbonización en pilas que se empleaba en la factoría francesa de Le Creusot (Borgoña).

Añadía que en aquel momento se debatía intensamente sobre si estos productos eran corrosivos y podrían sustituir a los semejantes extraídos de las maderas, y concluía intuyendo:

«Mas si como estos insulares pretenden se puede reemplazar por los productos del vapor de la hornaguera el aceite de linaza p^a las imprentas y pintura; y la brea o alquitrán p^a los navíos, el descubrimiento será de indecible utilidad, pues estaban obligados á comprar las quantiosas cantidades que exige su marina de brea y alquitrán en Rusia y América del Norte».

Lamentablemente, la falta de experiencia práctica de Morla y Guillelmi en estas cuestiones impidió que se pudiera llevar a cabo la transferencia a España de la tecnología de fabricación del coque y de sus productos derivados.

Los primeros hornos de obtención de coque y breas construidos en Asturias

Mientras todo esto sucedía, una vez que la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Asturias dispuso de la memoria de Betancourt, logró construir en las cercanías de Oviedo un horno para desazufurar carbón y obtener coque y breas. Antonio Carreño y Carreño, uno de sus socios, dio cuenta de ello en el «Informe sobre las minas de carbón de piedra y otras especies» que redactó el 28 de marzo de 1787¹¹. En él apuntaba algunas medidas que permitirían fomentar la explotación y comercialización del combustible asturiano, destacando la ventaja que supondría el hacerlo destituido del mal olor que desprendía:

«... como lo usamos algunos del país en nuestras cocinas y chimeneas a favor de las instrucciones que para esta operación comunicó en nuestra sociedad el Excelentísimo Sr. Conde de Aranda, no debiendo callar que esta simple operación solo consiste en quemar el carbón en la forma que se quema el de madera y que se trabaja por encargo de la misma Sociedad en repetirla por evaporación a fin de aprovechar la brea o betún que comienzan los franceses a extraer del carbón»

Su existencia fue confirmada por el reverendo Joseph Townsend en el libro que compuso con las vivencias del viaje que realizó por España en 1786 y 1787. Aunque la finalidad de su periplo era esencialmente científica, el erudito viajero recopiló información de todos aquellos asuntos que llamaron su atención. Singularmente, a su paso por Asturias entre el 2 de agosto y el 2 de octubre de 1786, refirió la visita girada a «una nueva fábrica de petróleo», establecida conforme al proyecto remitido desde París por el conde de Aranda y siguiendo el modelo de lord Dundonald (TOWNSEND, 1792).

Sin embargo, a pesar del considerable capital invertido y de las expectativas creadas, el pionero ensayo fracasó al reventar el horno en las operaciones de carbonización. En un informe remitido el 23 de febrero de 1788 al ministro de Marina, Antonio Valdés, Bernardino Antonio de Sierra y el conde de Marcel de Peñalba –respectivos presidente y secretario de la sociedad– le informaron del fatal desenlace y, aunque reconocían desconocer la causa exacta del accidente, apuntaban como posibles motivos la inexperiencia de los operarios, la falta de indicaciones sobre la manera de amasar el barro con el que se había hecho el horno, o que el barro empleado no hubiera sido capaz de resistir la actividad del fuego. Concluían señalando que no podían proseguir con la tentativa por falta de recursos económicos (ADARO, 1981).

(11) Reproducido en ÁLVAREZ y FERNÁNDEZ DE SAMPEDRO, 2018.



Fig. 8. Retrato de Gaspar Melchor de Jovellanos, representante señero de la Ilustración en España que desempeñó un papel esencial en el fomento de la minería de carbón asturiana

Al año siguiente, Carlos IV promulgó la real cédula de 26 de diciembre de 1789 sobre el libre beneficio y comercio del carbón de piedra, donde adoptaba íntegramente todas las propuestas que le había formulado el miembro de la Real Junta de Comercio Melchor Gaspar de Jovellanos¹² (fig. 8). Apenas cuatro días después, su hermano Francisco de Paula de Jovellanos le comunicó por carta desde Gijón que no se conocía en Asturias «la maniobra de desazufrar el carbón» y le mencionaba el infortunio del horno construido por la Sociedad de Amigos del País. Seguidamente describía el método de carbonización en pilas, tal y como se lo había explicado el ceramista Thomas Price, quien le había asegurado que haría un horno formal para desazufrar y recoger el alquitrán, «lo que casi se dispone como las alquitarras de los destiladeros ordinarios»¹³ (HUICI, 1931). No obstante, a pesar de

la aparente determinación manifestada por el británico, no ha quedado constancia de que este proyecto se intentase siquiera llevar a cabo.

En todo caso, ese mismo año de 1789 se constituyó en Madrid la Compañía de Pumarejo –más tarde denominada Compañía de San Luis–, que contra-

(12) Por RO del 28 de marzo, el gobierno había encargado a Jovellanos que emitiera un informe sobre la explotación del carbón de piedra asturiano y la utilidad de su compraventa. El prócer asturiano respondió a su cometido el 9 de abril. El 17 de agosto, apenas un mes después del estallido de la Revolución francesa, la Junta Suprema de Estado manifestó su conformidad con el dictamen recibido. Finalmente, el 18 de noviembre el rey aceptó el acuerdo adoptado y ordenó a Jovellanos que se trasladara a Asturias a fin de proponer sobre el terreno lo que considerara más adecuado para el desarrollo de la minería del carbón y del resto de sus propuestas (ADARO, 2003).

(13) En 1774 Price regentaba en Montpellier (departamento de Hérault) la casa comercial Thomas Price & Caffarel y se había comprometido a comprar carbón de las minas de la cuenca alesiana (SONENSCHER, 1977). Price llegó a Asturias, de la mano del comerciante Antonio López Dóriga, para dirigir la fábrica de loza que construyó en Oviedo en 1781. Con sus conocimientos hizo unos hornos que consumían carbón mineral e introdujo en el Principado la loza al estilo de Bristol, también llamada de pedernal. Las desavenencias entre ambos llevaron a Price a montar en 1785 otra factoría en Gijón, asociado en este caso con José Díaz de Valdés. En 1796 pasó a Galicia, donde tres años después instaló en Oleiros (La Coruña) la primera fábrica de loza fina de aquella región (CRABIFFOSSE, 1996b).

tó a algunos técnicos ingleses con el doble fin de explotar en exclusiva las minas de carbón de piedra de las montañas de Santander y Asturias y de fabricar carbón desazufrado. Para ello construyeron un primer horno en Carbayín (Siero), que fue visto por Jovellanos el 21 de octubre de 1790, durante su tercera expedición de minas, y que describió en sus diarios como «un horno para ensayos pequeño, muy rebajado, sin respiradero, con boca en arco. Se trajeron muestras de carbón y de quats; esto es, crudo y desazufrado» (GARCÍA y DÍAZ, 2011).

Amparándose en las franquicias que ya en 1780 se habían otorgado a los explotadores de las minas de Villanueva del Río (Sevilla), el apoderado de la Compañía de Pumarejo, Antonio Josef del Castillo, solicitó que se le concediera «la exclusividad durante diez años para producir carbón desazufrado de las Montañas y de Asturias, por ser la primera que emprendía dicho beneficio a gran escala en la península y proyectaba extender su uso a todos aquellos lugares en que más hiciese falta el carbón de leña, habiendo tenido que afrontar un alto coste para traer a facultativos versados en la materia de Inglaterra». También pidió la exención de derechos durante veinte años para todo el carbón desazufrado que exportara (LARRUGA, 1793). Mientras se resolvían estas cuestiones, el 21 de marzo de 1791 remitió unas muestras de coque preparadas en unos «nuevos hornos» que habían construido, de cuyas características y posible ubicación no ha quedado ninguna referencia¹⁴. Su intención era que fueran probadas en las reales fábricas de La Cavada y Liérganes (Cantabria) y, convencido de su calidad, proponía establecer una contrata para abastecer con dicho género a aquellas otras que lo encontraran ventajoso (ADARO, 1981).

Pero las prácticas monopolísticas desplegadas por la empresa y los pleitos que sostuvo por la propiedad de algunas minas despertaron los recelos de Jovellanos y de los técnicos de la Marina. Esto determinó que sus peticiones fueran finalmente rechazadas, con lo que la compañía se vio abocada a su disolución. No se conocen más datos sobre los que fueron los primeros hornos de coquización operativos que se construyeron en España, pero todo parece indicar que no habían sido diseñados para la recuperación de los subproductos bituminosos.

Fernando Casado de Torres, pionero de la química del carbón

La formación científica y técnica de Casado de Torres

Fernando Casado de Torres fue un prestigioso ingeniero de Marina que a lo largo de su carrera militar llegó a ser jefe de escuadra y comandante general

(14) Seguramente se encontrarían próximos a la mina grande de Lieres (Siero), que en opinión de Jovellanos era la mejor y más abundante de Asturias y que la compañía había subarrendado en agosto de 1790.

de Ingenieros. Sin embargo, a pesar de la relevancia de su figura, apenas se dispone de datos fiables que permitan conocer con detalle cómo adquirió su formación técnica y científica, pues su expediente personal proporciona muy poca información referida al periodo anterior a su incorporación al Cuerpo de Ingenieros de la Armada, en el que ingresó en marzo de 1789¹⁵.

Nació en Zafrá de Zúncara (Cuenca) el 30 de mayo de 1757. De familia humilde, recibió las primeras letras del maestro de escuela y párroco del pueblo. Seguidamente fue acogido en el Colegio de San Fulgencio de Murcia, donde cursó estudios de Humanidades. Contando con dieciocho años se trasladó a Nápoles, donde bajo la protección de su tío abuelo Mateo Carrascosa Acebrón, general-*virrey* de aquel reino, obtuvo la formación técnica necesaria para ingresar en la Reale Accademia Militare, donde debió permanecer hasta 1779¹⁶ (TORRES, 1878; CANO, 2002).

El siguiente lustro de su vida es especialmente oscuro, pues los escasos autores que aportan algunos datos biográficos de esta etapa no señalan las fuentes de donde los obtuvieron, lo que impide su contrastación. Así, Gutiérrez (2008) refiere que en abril de 1779 pasó a Francia por indicación de José de Gálvez y Gallardo¹⁷, titular de la Secretaría de Estado del Despacho Universal de Indias, para estudiar mineralogía en el gabinete de Jean-Rodolphe Perronet; que en 1781 obtuvo por concurso la cátedra de matemáticas del colegio académico existente en Chabeuil (departamento de Drôme), y que en 1783 inició en París los estudios en la *École des ponts et chaussées*, centrando su atención en la maquinaria y la geometría subterránea¹⁸.

Por su parte, Torres (1878) indica que hacia 1783 fue uno de los oficiales que compusieron la comisión de artillería que Fernando IV de Nápoles mandó a Rusia, por solicitud de la emperatriz Catalina II para

(15) Archivo General de la Marina Álvaro de Bazán (AGMAB), 3408-15, Ingenieros, Asuntos Personales, D. Fernando Casado de Torres.

(16) Nápoles contaba desde 1745 con una Real Academia y Escuela de Mathematica o Accademia di Artiglieria. En 1754, la oferta formativa de los oficiales del ejército se complementó con la creación de la Accademia del Corpo degli Ingegneri militari. En 1769 se decretó la fusión de ambos centros en la Reale Accademia Militare. La asistencia a los cursos, que duraban cuatro años, era obligatoria para los oficiales de Artillería e Ingenieros. El régimen de estudios era exhaustivo desde el punto de vista de las materias científicas (CASTRONUOVO, 1990).

(17) Entre 1765 y 1773 Gálvez fue destinado a México como visitador general, encomendándose entre sus misiones la de fomentar la minería y la metalurgia. En 1771 redactó un «Informe general», en el que exponía el difícil momento que atravesaba la minería mejicana y proponía una serie de reformas de calado. La corona apreció su labor nombrándole en 1776 ministro de Indias, cargo desde el que promovió la creación del Real Tribunal General de Minería (1777) y la promulgación de las Nuevas Ordenanzas de Minería (1783) [CASTILLO y LANG, 2006].

(18) Debe de haber algún error en los datos, pues Perronet, que había fundado en 1747 la *École royale des ponts et chaussées*, nunca tuvo a su cargo la materia de mineralogía, mientras que el curso especial de explotación de minas y máquinas fue impartido por Jean-François Guillot-Duhamel en la *École des mines*, que se estableció en el *Hôtel des Monnaies* a finales de 1783.

sostener la guerra contra los turcos¹⁹. Cano (2002) añade que posteriormente fue destinado a San Petersburgo, donde la zarina lo tomó como amante²⁰. Esto acabó despertando el recelo del poderoso consejero real Grigori Alexándrovich Potemkin, por lo que Casado decidió regresar a España, consiguiendo por medio de su tío abuelo ser nombrado en 1784 pensionado de Guerra de Indias con una dotación de doce mil reales de vellón, dato que ya aparece confirmado en su expediente personal²¹. En el viaje de retorno recibió en Budapest una real orden por la que se le comisionaba para visitar Hungría, Austria, Alemania, Suecia, Dinamarca, Holanda, Francia e Inglaterra, donde debería recabar información reservada de carácter militar y observar todo tipo de prácticas relacionadas con su profesión de ingeniero.

En todo caso, en 1786 Casado se encontraba formándose en París. El 22 de febrero de ese año Gálvez ordenó al catedrático de mineralogía y metalurgia del Seminario de Vergara (Guipúzcoa), Fausto de Elhuyar, que viajase a Viena para estudiar el método de amalgamación con barriles ideado por Ignaz von Born. Se le encomendaba, asimismo, que fuera acompañado por tres de los pensionados que se encontraban en la capital francesa, para que todos ellos pudieran enseñar luego dicho procedimiento en las Indias. Los designados fueron Josef Ricarte, Andrés del Río y Casado (PALACIOS, 1996).

No se ha localizado aún ninguna fuente que permita dilucidar como Casado pudo obtener los innovadores principios que en aquel momento empezaban a difundir los «químicos modernos» pues, como se verá más adelante, se

(19) El viaje de Casado a Rusia se ha de situar en el contexto de las revueltas que tuvieron lugar en el kanato formalmente independiente de Crimea en el periodo comprendido entre 1777 y 1782, las cuales culminaron con la anexión de dicho territorio por parte de Rusia en abril del año siguiente, convirtiéndose en el *óblast* de Táurida. La apertura oficial de relaciones diplomáticas entre las cortes de Nápoles y San Petersburgo tuvo lugar en 1777. Con el fin de estrechar las relaciones entre ambas naciones, en julio de 1782 Fernando IV había ordenado sustituir a su ministro plenipotenciario en San Petersburgo, el duque de San Nicola, por el de Serracapriola, quien llegó a la capital rusa en septiembre de 1783. Ese mismo año el gobierno napolitano decidió unirse a la Liga por la Neutralidad Armada promovida por Catalina II. No se ha conseguido recabar ninguna noticia sobre la comisión de artilleros que Nápoles envió a Rusia ni en las guías del Archivio di Stato di Napoli, ni entre la documentación remitida en 1784 por el encargado de negocios de España en Rusia, Miguel José de Azanza Alegría, al conde de Floridablanca, que se conserva en el Archivo General de Indias. No obstante, en septiembre de 1783 llegaron a San Petersburgo 36 oficiales y alféreces ingleses para servir en la lucha imperial, y se esperaba también la llegada de varios holandeses (FILIPPO, 2005; AMORE, 2017).

(20) El dato parece plausible, pues tras la repentina muerte, en julio de 1784, del favorito de la emperatriz, Alexander Lanskoj, se abrió una gran competencia entre las familias más destacadas y próximas a la corte para encontrar un nuevo amante para su soberana (AMORE, 2017).

(21) Ese mismo año, el Ministerio de Marina pensionó a otros jóvenes cualificados para que completaran su formación en París. Tal fue el caso de Agustín de Betancourt y Molina, Andrés Manuel del Río o Juan Manuel de Aréjula.

convirtió en un firme partidario de las teorías de Lavoisier, pero todo apunta a que habría asistido junto con otro pensionado, Juan Manuel de Aréjula, a las lecciones que desde 1784 impartió Antoine-Françoise de Fourcroy en el Jardin du Roy y, en 1786, en el Lycée²².

No obstante, tras examinar en mayo a los tres, Elhuyar informó al ministro que lamentaba «no hallarlos en el estado que esperaba encontrarlos y que convendría de pronto para llenar las patrióticas miras de VÉ», por lo que decidió dejarlos en París continuando sus estudios —«Andrés del Río y José Ricarte sus cursos y Fernando Casado sus operaciones mecánicas»— hasta que alcanzasen los conocimientos suficientes, estimando que esto sería al cabo de un trimestre (GARCÍA y BERTOMEU, 2001; VILAR, 2015). Señalaba también que Casado podría ser útil en las minas de América por su interés en la maquinaria y la arquitectura subterránea, pero que antes debería examinar la maquinaria de Hungría y Sajonia y complementar sus estudios en Francia en puertos y arquitectura hidráulica y ver obras de Holanda e Inglaterra (GUTIÉRREZ, 2008).

Ya en septiembre, los tres pensionados asistieron con Elhuyar a la reunión de científicos internacionales que se celebró en la localidad de Sklené Teplice (Eslovaquia) para dar a conocer el método de amalgamación desarrollado por Born y mejorado por Anton Leopold Ruprecht. Asimismo, en noviembre fueron autorizados para asistir como oyentes a los cursos de técnicas mineras y de química impartidos en la vecina Schemnitzer Bergakademie²³ (GICKLHORLN, 1963; PELAYO y REBOK, 2004).

Una vez concluidos estos, Casado se debió de disponer a proseguir el periplo formativo propuesto por Elhuyar, pues a finales de 1787 se encontraba en Viena. Entretanto, en junio se había producido el fallecimiento de Gálvez, con lo que el ministro de Marina, Antonio Valdés, quedó encargado también del Despacho Universal de Hacienda y Gobierno de Indias. Antes de que concluyera el año, este quiso aprovechar la estancia de Casado en la capital austriaca para que contactara con el oficial de artillería Wolfgang de Mucha y acordara

(22) Gutiérrez (2008) señala que los tres pensionados que acompañarían a Elhuyar estaban bajo la tutela de Balthasar Georges Sage, y añade que Del Río era amigo de Bethancourt, que ambos estudiaron juntos química y que realizaron la fase experimental siguiendo los tratados de Sage y Jean d'Arcet, trabajando con Bertrand Pelletier. La omisión a Casado parece dar a entender que este habría tenido otro instructor en dicha materia. No obstante, Sage, quien enseñaba mineralogía y química docimástica en la École des Mines, que también dirigía, era un científico conservador que se mostró contrario a los químicos modernos y se opuso a la reforma de la nomenclatura química que propugnaban, como también hicieron en un primer momento D'Arcet y Pelletier, por lo que no habrían sido ellos quienes formaron a Casado.

(23) En 1735 se había creado en Schemnitz una *Bergschule* para formar a los futuros funcionarios de minería. Tras sucesivas mejoras en su dotación, en 1770 adquirió el rango de *Bergakademie*, siguiendo el modelo de la creada en 1765 en Freiberg (Sajonia). El profesor encargado de la enseñanza de química en 1786 era Ruprecht. El centro se caracterizó por adoptar métodos experimentales basados en medir y pesar, contribuyendo significativamente a la comprensión científica de los procesos químicos al apoyar la teoría de la oxidación de Lavoisier y descartar la interpretación del flogisto de la combustión (ČÁRSKY y HERČKO, 2015).



Fig. 9. Retratos de Antonio Valdés y Fernández Bazán y de Fernando Casado de Torres, impulsores de las Reales Minas de Langreo, la canalización del río Nalón y el horno de carbonización de La Riera.

la prestación de sus servicios en las reales fábricas de artillería de Liérganes y La Cavada²⁴ (Cantabria) [SIERRA, 2006].

Casado no desaprovechó la oportunidad que el relevo ministerial le podía brindar y en febrero de 1788, desde Viena, envió a Valdés un extenso informe, a manera de presentación, en el que, tras informarle de que había logrado reunir una colección de más de setecientos planos durante sus viajes a Italia, Inglaterra, Francia, Hungría, Alemania y Holanda, le detallaba los dispositivos que consideraba podrían resultar más provechosos para la Marina²⁵. La capaci-

(24) Por RR.OO. del 7 y 23 de julio de 1781, el gobierno de Floriblanca había encomendado la dirección de los establecimientos de Liérganes y La Cavada al Ministerio de Marina. Unos meses después (8 de diciembre) se dispuso la visita del brigadier Antonio Valdés, para que adoptase sobre el terreno las disposiciones necesarias con el fin de impulsar la fabricación de cañones, que en aquel momento atravesaba una grave crisis por problemas de fiabilidad de las piezas de artillería producidas. La labor desempeñada por Valdés le valió su ascenso, en diciembre de 1782, a jefe de escuadra, obviando la antigüedad, y dos meses después el nombramiento como inspector general de Marina. Asimismo, el 9 de marzo de 1783 pasó a ocupar el cargo de secretario de Estado y del Despacho Universal de Marina, tras el fallecimiento de su anterior titular, el marqués González de Castejón.

(25) Refería los siguientes: una sierra para madera según las curvas deseadas que había visto en Saardan (Holanda); otra para hacer ruedas de madera, de Ebrewsee (Alemania); otra que taladraba los cañones con menos fuerza, más precisión y menos gasto que las que se empleaban en España, de Ebergsgang (Baja Austria); una máquina de vapor de Londres; una «máqui-

tación técnica adquirida y sus dotes de observación fueron apreciadas por el ministro, quien a partir de entonces lo incorporó a su camarilla y le convirtió en su principal asesor para las cuestiones relacionadas con el aprovechamiento del carbón mineral y la aplicación de las nuevas tecnologías siderúrgicas (fig. 9).

Casado de Torres, al servicio de la Marina española. Sus experimentos con el carbón mineral

De forma inmediata, el 21 febrero de 1788 Casado fue destinado a las órdenes del ingeniero comandante del arsenal de La Carraca, Tomás Muñoz. Allí recibió la orden de formar el plano y los cálculos de una máquina de sierras movida por una bomba de fuego de doble inyección, como la que acababan de perfeccionar en Inglaterra Mathew Boulton y James Watt. El 6 de julio de 1788, Casado remitió a la corte su proyecto para un aserradero de vapor de dimensiones colosales, proyecto que fue aprobado el 11 de noviembre²⁶ (TORREJÓN, 1995).

Gracias a estos méritos, el 16 de marzo de 1789 ingresó en el Cuerpo de Ingenieros de Marina con el empleo de ingeniero ordinario (teniente de navío)²⁷. Además, se le permitió continuar disfrutando de su pensión de doce mil reales anuales en consideración a los importantes servicios prestados durante sus viajes a Rusia, Alemania, Suecia, Dinamarca, Holanda, Francia e Inglaterra (exp. personal).

En mayo de ese mismo año, Casado fue destinado al norte de España para comprobar si se podrían forjar en Vizcaya o Guipúzcoa las piezas de hierro del mecanismo de las sierras y fundir los cilindros de la máquina de vapor en la fábrica de La Cavada. Al constatar que los hornos de reverbero tenían poca capacidad y que las calderas de los hornos de fusión eran insuficientes, propuso su reforma. Pero el 15 de junio la Secretaría de Estado de Marina le encomendó pasar a Inglaterra para comprar allí la «bomba de fuego» (TORREJÓN, 1995).

na subterránea» de Framont (los Vosgos); «los nuevos hornos de fundición de la invención de M. Chuaro en los cuales han fabricado ya varias piezas de artillería, tanto de bronce como de hierro, quemando carbón de tierra, a la manera de Inglaterra, pero en menos tiempo y con menos carbón», y un sistema de molinos de pólvora que había visto en Inglaterra (Archivo General de Indias, Indiferente General, 1796; cit. por GUTIÉRREZ [2008] y CASTILLO [2019]).

(26) Alcalá-Zamora (1974) consideró que este era, con certeza, el mayor proyecto de mecánica industrial concebido en España hasta 1800.

(27) En la Lista General del Cuerpo fechada el 1 de mayo de 1790 figura ya como ingeniero en segundo y se dice de él: «Es muy sublime en todos los conocimientos científicos. Se halla en Inglaterra desde sep.^{te} de 1789. Corrió casi la mayor parte de Europa de ord.^o del Rey con una pensión de 12.000 reales q^e goza p^r Indias. Ay informes de su mucha aptitud del Presid^e de la Academia de ciencias de Par^{is}, obtuvo en Francia una catedra de matem^{as}. con el mayor aplauso y desempeño. Sobresal^e. en el calculo, maquinaria, minas y fundicion^e. és autor de los 2 proyectos aprobados por el Rey de maqⁱⁿ de sierra y limpia del P^o. de Cadiz» (AGMAB, Ingenieros, Generalidad, leg. 3415; cit. por SÁNCHEZ CARRIÓN, 2009).

No obstante, antes de partir tuvo que completar otra parte de su comisión, consistente en informar sobre la existencia de carbón mineral en la provincia de Santander (actual Cantabria). Esta cuestión era primordial, puesto que el excesivo consumo de carbón vegetal por los hornos altos de Liérganes y La Cavada y por la fábrica de anclas de Marrón estaba provocando el agotamiento de las dotaciones forestales que tenían reservadas estas instalaciones y ponía ya en peligro su continuidad.

Como conclusión de su reconocimiento, el 19 de junio Casado comunicó a Valdés los resultados de varias calicatas que había realizado y dio también su opinión sobre el carbón que se recibía en La Cavada desde el puerto de Gijón, afirmando que era uno de los mejores que había visto y que la mina debía de ser abundantísima. No obstante, se lamentaba de que se suministrase «en rústico, pues si sublimasen el azufre en el aparato escocés, sustrayéndole el petróleo per descensum –cuyas sustancias, como abundan de calórico, son enemigas del oxígeno– dejarían su carbón en estado de disputar la preferencia al coaks de los ingleses». Este comentario demuestra que en aquel momento ya era conocedor del procedimiento de destilación del carbón desarrollado por Dundonald, que posiblemente habría tenido ocasión de observar en Upper Cranston, durante la primera visita que realizó a Gran Bretaña.

Asimismo, añadía: «trabajo en los ratos perdidos una memoria sobre el tratamiento de los carbones minerales y después pienso añadirle el método de establecer en estas Reales Fábricas la fundición de cañones empleando el coaks o carbón mineral puro, en lugar del vegetal»²⁸. El 3 de agosto, Valdés le pidió que le remitiera la memoria que ofrecía en cuanto la hubiera concluido, lo que debió de hacer antes de que concluyera el año, aunque actualmente se desconoce el paradero de este documento²⁹.

Entretanto, el 28 de agosto de 1789 Valdés suscribió en La Granja de San Ildefonso un «Informe sobre las minas de carbón de piedra de Villanueva del Río» (Sevilla) dirigido al intendente de Andalucía, Joseph de Ávalos³⁰. En él se decía que la Junta Suprema de Estado había examinado el expediente de las minas y los informes emitidos por el catedrático de matemáticas Pedro Henry, el brigadier de Marina Francisco Xavier Winthuysen, el comisario de Guerra Francisco Xavier de Larumbe, el industrial inglés Nathan Wetherell y el coronel de Artillería Vicente Giner³¹, así como los ensayos efectuados con dicho carbón, las noticias que habían

(28) AGMAB, La Cavada-Liérganes, leg. 7, 1789; reproducido por ALCALÁ-ZAMORA, 1974.

(29) En sus diarios de viaje, Jovellanos relató la visita que hizo el 28 y 29 de septiembre de 1797 al establecimiento de La Cavada, haciendo mención de la memoria que Casado redactó en 1789 sobre la necesidad de fundir con carbón de piedra.

(30) AGS, Servicio de Hacienda, leg. 957.

(31) Henry es el autor de la memoria sobre las minas de Villanueva del Río redactada en 1786 por encargo de la Real Sociedad Patriótica de Sevilla. Winthuysen llevó a cabo en 1787, por orden del gobierno, un reconocimiento de dichas minas, sobre las que redactó un informe y levantó un plano de situación. Larumbe, un firme promotor de las industrias textiles, había sido director del Banco de San Carlos y tenido a su cargo el control del abastecimiento de la Marina. Wetherell era el director de la Real Fábrica de Curtidos de Sevilla y participó en numerosas sociedades industriales. Giner fue director técnico de la fundición de La Cavada.

dado personas experimentadas en esta materia y lo manifestado al respecto por Casado de Torres. A la vista de ello, se había acordado preguntar formalmente a los socios de la compañía que explotaba las minas si estarían dispuestos a sacar de ellas todos los aprovechamientos que expresaba Casado de Torres, entendiendo que tanto «el carbón bien purificado, como los demás materiales que convengan al arsenal de La Carraca» se comprarían a precios equitativos³². Y, en caso de no quisieran o pudieran verificarlo, se les harían los abonos justos y se devolvería la mina a la Corona para que el Ministerio de Marina dispusiera su beneficio por cuenta de la Real Hacienda. El rey había aprobado dicho acuerdo, por lo que Valdés encargó al intendente que le diera cuenta del resultado de la negociación, indicándole con toda claridad los precios a los que se podría obtener tanto el carbón, «como los betunes que se extraigan de él».

Del contenido de este documento se deduce que Casado había propuesto al ministro de Marina obtener coque y los productos derivados de la destilación del carbón de las minas de Villanueva del Río para abastecer con ellos al arsenal de La Carraca. Este habría sido el segundo intento de implementar dicha tecnología en España, tras el fracaso del horno promovido por la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Asturias. Pero los empresarios mineros renunciaron al privilegio que tenían concedido, y el propósito de la Marina resultó contrario al espíritu de la real cédula, promulgada el 26 de diciembre de ese mismo año, por la que se declaró el libre beneficio y comercio del carbón de piedra³³. De esta forma, el ambicioso proyecto quedó en nada y las minas pasaron finalmente a ser trabajadas por los vecinos de la zona para surtir de combustible a la Real Fundición de Bronces y a la Real Maestranza de Artillería de Sevilla, así como a otros pequeños consumidores locales³⁴.

Finalmente, en septiembre Casado pasó a Gran Bretaña, donde permaneció durante un año llevando a cabo varios encargos del gobierno³⁵. Como fruto de

(32) El 18 de agosto de 1780, la Junta de Comercio, Moneda y Minas había concedido a Joseph de Ulacia y Aguirre y a Joseph Suero y Compañía un privilegio para beneficiar las minas de Villanueva del Río durante veinte años.

(33) Carta del oficial de la Secretaría del Despacho de Marina, Juan Ibáñez de la Rentería, dirigida a la superioridad; cit. por ADARO, 2003.

(34) El 14 de marzo de 1791, la Junta Suprema de Estado trató el expediente relativo a la petición del vecindario de Villanueva del Río para que se le permitiera dedicarse a descubrir y beneficiar minas de carbón de piedra en dicho territorio, así como el dictamen del asistente de Sevilla que consideraba que se debía denegar dicha pretensión y proseguir las diligencias para encontrar o promocionar una sociedad o compañía que las explotara con método y arte. El rey encargó a este último que se ocupara de dicho asunto con la máxima diligencia, y que se respondiera a los vecinos que se les procuraría señalar terreno para que extrajeran carbón conforme a la Ordenanza, en cuanto esta estuviera concluida y puesta en vigor (ADARO, 1981).

(35) El día 8, Bernardo del Campo, marqués del Campo y embajador en Londres, informó al conde de Floridablanca, secretario de Estado: «... acaba de llegar por la vía de Bilbao el joven Casado de Torres con carta de V.E. y otras. Como es Mozo a quien estimo por el anterior conocimiento que ya tenía de sus prendas no dude V.E. que procuraré servirle en lo que se le ofrezca» (Archivo Histórico Nacional, Estado, leg. 4251; AGMAB, La Cavada, General, leg. 4313, 1790, VII-XII; cit. por SIERRA, 2006). Esta nota confirma la visita previa de Casado a Gran Bretaña, así como la buena impresión que le había causado al diplomático.

su recomendación sobre la conveniencia de fundir con carbón mineral, a comienzos de 1790 Valdés le comunicó el proyecto de la Junta Suprema de Estado de sustituir por carbón de piedra el carbón vegetal que venía usándose en los hornos de fundición de toda España³⁶. Aprovechando esta coyuntura, el 22 de enero Casado le remitió desde Londres una segunda memoria en la que incluyó las observaciones y experimentos que había realizado con los carbones de piedra de Penagos (Cantabria) y de Gijón³⁷. Estos ensayos tenían, en principio, tres objetivos: 1) conocer el carácter distintivo de las diferentes sustancias que producían los carbones minerales en la descomposición por la vía seca; 2) determinar el volumen de aire vital que se descomponía en la combustión de cada libra de coque, y 3) evaluar la cantidad de brea mineral y de sustancia carbonosa pura (coque) que producía cada quintal de carbón de Penagos y de Gijón al tratarlos según el método de Dundonald.

Como resultado de sus operaciones, llegó a la conclusión de que con un quintal (46 kg) de carbón de Penagos se podrían obtener 44 libras (20,2 kg) de coque y 6 libras (2,7 kg) de brea mineral, e incluso algo más del primer producto con un horno de mayor tamaño y mejor terminado que el que había empleado. El rendimiento conseguido con el carbón de Gijón fue ligeramente inferior. La brea mineral recogida era de más calidad que la vegetal para embrear las maderas, pero resultaba muy perjudicial para la jarcia debido a su excesiva causticidad, si bien este inconveniente se podría atenuar quitándole el «álcali volátil» (amoniaco).

Consideraba que para las fundiciones de hierro eran preferibles los carbones minerales tratados en los hornillos de carbonización, ya que con este procedimiento se facilitaba la destrucción de una gran parte del «radical azoote» (nitrógeno) y se podía aprovechar la brea mineral, el álcali volátil y otros productos resultantes de la destilación. La carbonización al aire libre no tenía estas ventajas, pero era un proceso tan fácil y poco costoso que se podría aplicar para preparar los combustibles necesarios para la primera fundición que se fuera a hacer en La Cavada con coque, sin necesidad de «las obras y preparativos costosos que exige el aparato de los hornos de carbonización de Dundonald» y con la ventaja adicional de evitar «los grandes dolores de cabeza que traen consigo estos nuevos establecimientos en los cuales sería preciso emplear gente mercenaria y, por consiguiente, floja e indolente».

Confiado por los resultados de los experimentos, Casado se permitió ampliar sus objetivos, llegando a establecer una teoría sobre la combustión del

(36) AGMAB, Arsenales, Carbón de piedra, 1790-1792; cit. por ALCALÁ-ZAMORA, 1974.

(37) AGMAB, Arsenales, Viaje a las montañas de Santander, 3806. En ella daba muestras de conocer la obra de Lavoisier y de Fourcroy, adoptaba su terminología y expresaba su admiración hacia el primero de ellos al manifestar que, con justa razón, debía llamársele el maestro de los químicos modernos. También evidencia que seguía de cerca los avances en esta materia, pues utiliza los términos «azoote» y «sulfureto», que habían sido adoptados por Pedro Gutiérrez Bueno como una excepción al criterio general mantenido por los autores del *Méthode de nomenclature chimique* en la traducción al castellano que de dicha obra hizo a comienzos en 1788, apenas unos meses después de que la original fuera publicada en Francia (BERTOMEU y MUÑOZ, 2010).

coque en los hornos de fundición, «sin temor de perderme en la confusión de tantas hipótesis y tantas suposiciones gratuitas como han hecho los que, sin consultar la experiencia, han querido tratar esta materia». También se asombró de que ningún científico de los que se habían ocupado de la combustión de los carbones minerales hubiera reparado en la gran cantidad de «gas azoote» que resultaba en la combustión del coque, ya que influía mucho en la economía de las fundiciones y demás trabajos metalúrgicos. Solamente Fourcroy había referido la existencia de una sustancia incombustible en el carbón mineral, pero sin identificarla. Y, aunque consideraba que sería útil hallar el medio de disminuir algo más el «azoote» para poder economizar la fuerza que exigían los barquines de los grandes hornos de fundición, le parecía conveniente dejar al coque algo de su radical incombustible, para lograr un grado de calor más activo y duradero que el que proporcionaban los carbones vegetales.

Aparte de las cuestiones científicas, Casado también prestó atención a las tecnológicas. Así, aun considerando que cada especie de coque exigía una cantidad diferente de oxígeno en la combustión, y que la forma y dimensiones de los hornos de fundición influían en la energía de la llama y la esfera de actividad del calórico, llegó a la conclusión de que, para lograr el mayor efecto posible, los barquines deberían insuflar en el hogar unos 330 pies cúbicos (7,1 m³) de aire atmosférico para cada libra (0,46 kg) de coque. Asimismo, creía que la sección angular que se le daba tradicionalmente a los hornos de fundición disminuía de forma notable la revivificación de los minerales, por lo que proponía la circular como la sección más ventajosa³⁸. Por último, reconocía que el estado de los conocimientos en aquel momento no permitía determinar con precisión las dimensiones que deberían tener los hornos de fundición para optimizar la circulación del aire y la consiguiente combustión del coque, entendiendo que en este asunto se debería proceder por ensayo y error, tal y como recomendaba Lavoisier.

Con todo, en esta segunda memoria Casado se centró en las materias que podrían ser de inmediata utilidad para la Marina, sin incluir otras observaciones que consideraba interesantes, por lo que manifestó su propósito de redactar, cuando sus ocupaciones se lo permitieran, un tratado completo sobre los carbones minerales, lo que finalmente no pudo o no se le permitió llevar a cabo.

Por otra parte, su expediente personal indica que aprovechó igualmente este viaje a Inglaterra para realizar unos planos del establecimiento siderúrgico de Bradley, en el que se encontraban los hornos de destilación de carbón que habían visitado unos meses antes los artilleros Morla y Guillelmi, lo que demuestra su interés por ponerse al tanto de los últimos avances en esta tecnología³⁹.

(38) Este detalle viene a demostrar que los hornos de fundición de hierro al coque que se construyeron en 1794 por parte del Ejército en Trubia (Asturias) no se realizaron teniendo en cuenta sus ideas.

(39) Una carta de Casado al marqués del Campo, fechada el 8 de febrero de 1790, permite confirmar su estancia en el condado de Staffordshire (ADARO, 2003). Parece ser que también

Los logros obtenidos antes incluso de concluir su comisión en Gran Bretaña le valieron el ascenso a ingeniero 2.º el 1 de mayo de 1790 (exp. personal). En noviembre, Casado ya estaba de regreso en La Cavada, donde comenzó a realizar las labores para la explotación de la mina de carbón de Penagos.

Mientras tanto, Antonio Valdés seguía pendiente de asegurarse un abastecimiento regular de combustible fósil para los hornos de las factorías cántabras, por lo que el 13 de diciembre encargó al inspector general de la Marina, Félix Ignacio de Tejada, que informara sobre el aprovechamiento del carbón mineral de Asturias. En la memoria que este le remitió el 3 de febrero de 1791, señalaba que dicho ramo era uno de los medios que más contribuían al fomento de una marina real y mercantil, por lo que aconsejaba que no fuera servido por asentistas, debido a los perjuicios que acarrearía la explotación de las minas sin aplicar los principios facultativos. Conforme con el parecer de la Sociedad Económica de Amigos del País de Asturias, recomendaba a Carlos García Álvarez, comisario de guerra de los Reales Ejércitos y director de las Reales Minas del valle de Monterrey (Orense), como el técnico más adecuado para reconocer los yacimientos que se deberían beneficiar en la región y dar las instrucciones que permitieran introducir los conocimientos de la «arquitectura subterránea». También estimaba que sería capaz de establecer los hornos para desazufar el carbón y aprovechar su betún, tarea que consideraba muy sencilla, entendiéndolo que el fracaso del que construyó la Sociedad «dimanó de la falta de conocimientos en el uso, y operaciones, así como de los adecuados materiales del Horno, que todo contribuyó al mal éxito de rebarbar»⁴⁰.

En la misma línea, en marzo de 1791, Valdés trasladó a Casado una propuesta, que había recibido de los asentistas que comercializaban el carbón asturiano, para surtir a los tres departamentos navales peninsulares y a la fábrica de La Cavada. Pero, al tratarse de un insumo estratégico, al ingeniero no le pareció conveniente mantener esa arriesgada dependencia comercial, por lo que en su respuesta aconsejó que fuera la Real Hacienda la que beneficiara por sí misma algunas de las minas del Principado de Asturias⁴¹.

Pero el asunto había despertado muchas expectativas, y en julio tuvo que informar de nuevo a Valdés sobre el resultado de las pruebas que este le había encomendado realizar de unas muestras de coque preparadas por la Compañía de Pumarejo. En su opinión, el producto estaba perfectamente preparado para el uso en las fundiciones, y su calidad era equiparable al de Staffordshire, aunque insistía en que sería más rentable que fuera la Real Hacienda la que se encargara de explotar las minas asturianas y transportar el carbón (ADARO, 2003).

remitió dichos planos, junto con una memoria, al gobierno (exp. personal), aunque estos documentos no han sido localizados por ningún investigador.

(40) AGMAB, Arsenales, Asuntos Particulares, leg. Carbón de piedra, n.º 139, 1790-1792; reproducido en ÁLVAREZ y FERNÁNDEZ de SAMPEDRO, 2018.

(41) Su opinión al respecto era tajante, manifestando literalmente que se debería evitar que «la Marina de Guerra sea tiranizada por las manos rapaces de los asentistas» (ADARO, 1981).

Dispuesto por fin a explorar esta posibilidad, a finales de dicho mes Valdés comunicó a Jovellanos que el gobierno había decidido enviar a Casado al Principado de Asturias para que le ayudase, en calidad de facultativo, con el encargo real que había recibido el año anterior de proponer las medidas necesarias para fomentar la minería de carbón⁴². Casado comenzó en agosto con las labores de prospección, pudiendo anunciar al ministro en septiembre que ya había descubierto 82 minas muy buenas en el concejo de Langreo⁴³ (ADARO, 1981). Como premio a este servicio, el 5 de octubre de 1791 fue ascendido a capitán de navío (exp. personal).

Por otra parte, Casado apoyó todas las propuestas que formuló Jovellanos⁴⁴. No obstante, al estimar que en Cádiz se necesitarían en dos años dos millones de quintales (92.019 toneladas) de carbón para alimentar la nueva sierra de vapor, y que también sería preciso proveer a los otros departamentos, así como a los fogones de los navíos, consideró que no se podría conducir tanto mineral por una nueva carretera hasta el puerto de Gijón como había planteado el prócer asturiano. Así pues, juzgó que para atender dicha demanda resultaba imprescindible canalizar el río Nalón y hacerlo navegable desde Pola de Laviana al puerto de San Esteban de Pravia, parecer que trasladó a Valdés el 11 de noviembre de 1791⁴⁵.

El ministro le encomendó que presentara el proyecto correspondiente, presupuestara las obras y recabara la opinión de Jovellanos. Una vez supera-

(42) Jovellanos había solicitado que se le asignaran uno o dos sujetos inteligentes y prácticos en el conocimiento de las minas de carbón de piedra, así como en su beneficio y extracción, con el fin de poder asegurar su calidad y aprovechamiento (ADARO, 1981). Por RO de 26 de agosto de 1790, el consejero de Estado Antonio Porlier comunicó a Jovellanos que se pusiera en camino para Asturias, «a desempeñar la comisión del Real Servicio que le está encargada en aquel Principado», tan pronto como hubiera dado cuenta al presidente del Consejo de Órdenes de la comisión que había desempeñado en Salamanca. El 19 de septiembre dio comienzo a sus «expediciones de minas», y el 15 de junio de 1791 envió al ministro de Marina un expediente de nueve piezas fechadas entre el 10 y el 15 de mayo (ÁLVAREZ-VALDÉS, 2002).

(43) Hacia 1757, el marqués de Villacastel había ensayado el carbón de la cuenca del Caudal (Asturias), en el horno de reverbero que había instalado en La Cavada, sin obtener resultados prometedores. Contando con esta experiencia, cuando en 1770 el comisario de Guerra Joseph Antonio de Horcasitas envió al fundidor de dichas instalaciones, Francisco Ignacio Richters, a reconocer las minas asturianas, este escogió el carbón de Langreo para los nuevos reverberos (ADARO, 1981).

(44) En el informe que elevó al rey el 9 de abril de 1789, Jovellanos había propuesto divulgar el uso del carbón de piedra entre todos los ciudadanos; hacer un reconocimiento general de las minas asturianas; abrir caminos y hacer canales y ferrocarriles para conducir el carbón a los puertos de extracción; liberalizar la explotación del carbón; gratificar a los dueños de embarcaciones españolas que transportaran carbón fuera de la provincia, y establecer en Asturias una escuela teórico-práctica de mineralogía (ADARO, 2003).

(45) Aunque Casado había calculado la longitud de dicho tramo en doce leguas (66,9 km), la propuesta no era completamente descabellada, pues en 1787 Manuel Polledo y Cueto, un vecino de Noreña, había conseguido transportar hasta la desembocadura del río Nalón, en 48 chalanas, las maderas cortadas en los montes de Laviana (ADARO, 2003). Con anterioridad, la idea de transportar el carbón por el río Nalón ya había sido planteada en 1771 por el comisario real de Marina en Asturias, Joseph de Colosía, al intendente del departamento marítimo de Ferrol, Pedro de Hordeñana (ADARO, 1981).

dos estos trámites, el plan fue aprobado por el rey, lo que le valió su ascenso a ingeniero en jefe el 21 de abril de 1792 (exp. pesonal). Para entonces, Casado ya había conseguido extraer 95.000 quintales (4.371 t) de excelente carbón de las veinticinco minas que había puesto en marcha, y esperaba alcanzar los 400.000 (18.404 t) a finales de agosto⁴⁶. Entendiendo que con ello había cumplido su cometido, a comienzos de dicho mes reclamó que se pusiera al teniente de navío Jerónimo Tavern al frente de la dirección técnica de las explotaciones de carbón de piedra y de las obras de navegación del río Nalón⁴⁷.

Por otra parte, el triunfo de la Revolución francesa y el consiguiente deterioro de las relaciones con las autoridades del país vecino amenazaban con desencadenar un conflicto bélico en cualquier momento, lo que pondría en serio peligro la integridad de las fábricas de armas y municiones situadas en las proximidades de la frontera pirenaica. Ante esta tesitura, el Consejo de Estado comisionó en agosto de 1792 a Casado para que buscara un emplazamiento adecuado donde establecer una fábrica de municiones de guerra «en Asturias o en las Montañas de Santander».

El 5 de septiembre de 1792, el ingeniero de la Marina remitió un dictamen al ministro de la Guerra, el conde y duque de Campo de Alange, en el que proponía como paraje más conveniente el punto de unión del río Trubia con el Nalón, en Asturias⁴⁸. Este informe es de enorme interés para el tema que nos ocupa pues, además de referir los resultados de los experimentos que había llevado a cabo destilando carbón mineral en La Cavada en 1789, Casado añadía otros, practicados con carbón de Newcastle durante su estancia en Gran Bretaña y, en enero y febrero de ese mismo año, con varios carbones asturianos.

En los realizados en 1790 en Londres, calculó la cantidad de óxido de hierro puro que se podía obtener con la combustión de una pequeña cantidad de tres muestras diferentes de coque, así como el oxígeno consumido en el proceso. En los dos primeros casos utilizó carbón de Newcastle carbonizado al aire libre y en los hornos de Bradley, respectivamente, mientras que en el tercero empleó una porción de coque obtenido del mineral fósil que se consumía en La Cavada con la denominación de «carbón de piedra de Langreo»⁴⁹. Los resultados que obtuvo fueron ligeramente favorables a este último.

(46) Carta del 28 de marzo de 1792 de Casado a Valdés; cit. por ADARO, 2003.

(47) Natural de Toulouse (Francia), Tavern inició su carrera militar como oficial del Ejército de Tierra. Encontrándose en situación de subteniente de Infantería, ingresó en la Armada y fue destinado al departamento marítimo de Ferrol. Después pasó de ingeniero extraordinario a ordinario. En aquel momento desempeñaba el cargo de gobernador del castillo de la Trinidad de Rosas (Gerona). Por RO de 28 de marzo de 1794 fue nombrado capitán de fragata. Permaneció en Asturias hasta el 29 de septiembre de 1800, fecha en la que fue nombrado comandante militar de la provincia marítima de Palamós (Gerona) [ADARO, 2003].

(48) AGS, Guerra Moderna, leg. 5698 (SUÁREZ, 2022).

(49) La matización empleada por Casado es significativa, pues los asentistas asturianos tenían la mala costumbre de mezclar en sus almacenes carbones procedentes de diferentes minas, lo que hacía que la calidad del producto comercializado resultara muy irregular.

En los de 1792 se centró en averiguar la cantidad de coque que se quemaba completamente con cierto volumen de aire, a presión constante y en un tiempo determinado. En esta ocasión utilizó cuatro tipos de carbones asturianos procedentes de La Riera y San Lorenzo (Langreo), San Félix (Lena) y la mina grande de Lieres (Siero). Cada uno de ellos fue carbonizado al aire libre y en un pequeño horno de tipo Dundonald que hizo construir al efecto en Langreo⁵⁰. Dado que el objetivo de su informe era justificar la implantación de la nueva fábrica de municiones en Trubia, centró su atención en los resultados obtenidos con el carbón de San Félix, que habría de ser el que se consumiría en dicho establecimiento, y sus conclusiones se dirigieron al proceso de fundición del hierro, más que al de la obtención de coque⁵¹. En todo caso, afirmaba que el elaborado en los hornos de Dundonald deflagraba más uniformemente, por lo que debería preferirse para los nuevos hornos altos. Añadía que dicho método tenía la ventaja de poder dar a los carbones de piedra el grado de carbonización que requirieran los usos a los que iban a ser destinados, además de proporcionar alquitrán y breas como productos derivados.

Algún tiempo después, en una carta que Casado envió a Valdés el 1 de abril de 1794, manifestaba orgulloso su satisfacción por haber demostrado las operaciones químicas de la depuración y carbonización del carbón de piedra «con más acierto de lo que debería esperarse de mis limitadas luces». También resaltaba que había hecho ver los usos y utilidades del alquitrán mineral obtenido por destilación del carbón, y descubierto que el aceite volátil cáustico que quedaba en la superficie de los líquidos condensados ardía muy bien en las candilejas de las minas, de modo que podía sustituir con mucha ventaja al aceite o grasa de ballena que se empleaba en el alumbrado de los trabajos subterráneos (ADARO, 1981). Estos constituyen, sin duda, méritos que permiten considerarlo uno de los pioneros en el estudio de la química del carbón, al nivel de los más relevantes investigadores de su tiempo⁵².

(50) Este fue, por tanto, el primer horno de destilar carbón que llegó a funcionar regularmente en España.

(51) Encontrándose el carbón de Langreo reservado para la Marina, el Ejército se tendría que abastecer del procedente de la comarca del Caudal, para lo cual sería necesario canalizar dicho río hasta su entronque con el Nalón.

(52) A título comparativo, sus trabajos son contemporáneos del libro *Dell'antracite o carbone di cava detto volgarmente carbon fossile* (1790), de Giovanni Fabbroni, y algo anteriores a la célebre memoria «Of the composition and proportion of carbon in bitumens and mineral coal» (1796), de Richard Kirwan, obras que, sin embargo, no inciden en las aplicaciones prácticas de los productos derivados de la destilación del carbón. En este otro aspecto cabe citar el ensayo de Jean-Henri-Isnard Gazeran *Mémoire sur les fers de fonte obtenus avec le charbon de terre dessouffré ou réduit en coak, & sur la ténacité comparée avec celle des fontes qui proviennent des forges où l'on n'emploie que le charbon de bois* (1790).

El horno de carbonización construido por Casado de Torres en La Riera (Langreo)

En octubre de 1792, el conde de Campo de Alange informó favorablemente la propuesta de Casado de establecer una nueva fábrica de municiones en Trubia. El Consejo de Estado aprobó finalmente el proyecto el 15 de febrero del siguiente año⁵³, pero no se hizo nada efectivo en aquel momento. Esta dilación evidencia la existencia de tensiones en el gobierno por los cuantiosos desembolsos que supondría la construcción de la factoría, y explica que, en un último intento por evitarlos, el 28 de febrero de 1793 se ordenase a José Valdés, comandante jefe de La Cavada y sobrino del ministro de Marina, que, una vez acabada la fundición con el carbón vegetal, prolongase la temporada con el horno caliente realizando experimentos de fusión con el coque asturiano (HELGUERA, 2012).

Para poder llevarlos a cabo se desazufraron en Asturias mil quintales (46 toneladas) de carbón mineral. Pero, con el fin de no incurrir en los costes e inconvenientes que acarrearía erigir un horno de carbonización de tipo Dundonald, previstos por Casado en su memoria del 22 de enero de 1790, se optó por aplicar el método de torrefacción, utilizando varios hornos de cal de los muchos existentes en la región. Según comunicó Tavern el 22 de mayo, la operación duró más de dos meses y el mineral perdió algo más de un tercio de su peso⁵⁴.

Disponiendo ya del combustible, las pruebas de fundición con coque se realizaron en el horno alto Santa Teresa en mayo de 1793. Pero el resultado fue un rotundo fracaso, ya que el interior de las paredes se embetunó y el hierro se coaguló en la caldera hasta llegar a obstruir la tobera, por lo que se tuvo que interrumpir el proceso para que el horno no resultara dañado⁵⁵. En el informe que el segundo comandante, Miguel Dalmau, elevó al ministro de Marina el día 29 de dicho mes, indicó que los operarios atribuyeron la causa de estos problemas a la mala preparación del coque (ALCALÁ-ZAMORA, 1974). Este percance obligó a adoptar el plan alternativo, por lo que, a mediados de dicho año, Casado recibió la comisión de pasar a Asturias a plantear un horno de carbonización para reducir a coque el carbón de piedra «y hacer los ensayos por el método de Dundonald para sacar de él alquitrán mineral, como lo practicaban los ingleses en Bradley» (exp. personal).

El lugar que Casado eligió para construirlo se encontraba en la orilla izquierda del río Nalón, junto a la desembocadura del arroyo de San Tirso y a una distancia de unas mil varas (836 m) aguas arriba del estrecho de Barripiés. El paraje, conocido como La Riera y enclavado en la parroquia de Frieres (concejo de Langreo), pertenecía a Tomás Bernaldo de Quirós, titular del

(53) AGS, Estado, lib. 6, ff. 15 y 16; cit. por ADARO, 1981.

(54) AGMAB, La Cavada-Liérganes, leg. 13, 1793, 1.º; cit. por ALCALÁ-ZAMORA, 1974.

(55) Este problema, provocado por una coquización incompleta, se conoce en el argot como «embarazado del horno» o «emborricado» (GARCÍA y MARQUÉS, 2017).



Fig. 10. Fragmento del Plano topográfico del río Nalón, elaborado por la Comisión de Planos, en el que se ha resaltado el emplazamiento del horno de La Riera (flecha roja) y las minas de carbón más próximas (flechas azules). [FUENTE: Instituto Geológico y Minero de España]

mayorazgo de Lena y Aller y de los demás vínculos de dicha casa, el cual había franqueado el acceso a sus propiedades para que en ellas se reconociesen y explotasen cuantas minas fuesen útiles para el servicio del rey⁵⁶. Inmediatas al horno, se habían abierto ya dos galerías de carbón, y a muy corta distancia, otras cinco, por lo que el emplazamiento facilitaba tanto el abastecimiento de mineral como la salida de los productos (fig. 10).

Contando con una dotación mensual de treinta mil reales, las obras se desarrollaron a buen ritmo. Así, el 9 de noviembre Casado comunicó a Valdés que ya estaba rematada la caja del horno y que a lo largo de dicho mes estarían también sus parrillas, puertas y ceniceros, de manera que confiaba en que a finales de diciembre se pudiera empezar a carbonizar en él (ADARO, 1981). Veinte días después, el ingeniero acompañó a Jovellanos y al párroco de San Julián de Tudela a visitar la instalación, que se encontraba todavía sin rematar. El prócer recogió en su diario de viajes la que sería la primera descripción del horno como sigue:

(56) A pesar de los perjuicios que las labores mineras podían ocasionar en las fincas, el hacendado había manifestado que con ello su casa salía beneficiada ya que, al estar sus caseros y renteros empleados en las reales minas, podían pagar sus rentas con el estipendio que ganaban, lo que antes no sucedía por la miseria que los tenía oprimidos (informe dirigido el 10 de mayo de 1794 por el interventor de las reales minas de Langreo, Benito Fernández, a Antonio Valdés; cit. por ADARO, 1981).

«... es un cilindro como de cuarenta pies [11,1 m] de alto y de quince a veinte [4,2 a 5,6 m] de diámetro, todo de sillería por dentro y fuera, de piedra de grano, bien trabajado. En la parte inferior tiene su cenicero, al cual se entra por una puerta de excelentes cortes de piedra, y es una bóveda muy rebajada, en cuyo centro hay una abertura circular, donde esta colocada la rejilla, que es de barras cuadradas de hierro, como de dos pulgadas [4,6 cm] cada frente. Tiene después, y sobre ella, el alto en que debe colocarse el carbón, con su puerta, que ha de ser de hierro, y se está actualmente trabajando. En derredor hay, a diferentes alturas, varios órdenes de agujeros que penetran el horno de parte a parte para la respiración, y en la superior hay una bóveda rebajada y cerrada, aunque tiene dos aberturas, una a un lado, circular, que tiene una puerta de hierro, y por la cual se ha de cargar el horno, y otra al otro, que sirve de boca a un tubo de piedra de dos pies [0,56 m] de diámetro en lo interior, que ha de dar salida al humo, puesto que los agujeros se han de tapar con barro, y solo abrirse cuando para la combustión sea necesario abrir uno u otro, lo que se hará por medio de unos grandes punzones que penetren hasta el centro. A este fin debe haber dos galerías en derredor, sostenidas sobre unos estribos que se están construyendo, y estos servirán también para apoyar un tinglado que debe cubrir al horno para defenderle de las lluvias. Por el tubo saldrá el humo mezclado con el petróleo y pasará a un lavadero, por dentro del cual han de penetrar otros tubos de barro cocido, para irse refrescando y cuajando el petróleo, que ha de salir a caer en sus receptáculos. Sobre la puerta del cenicero hay un arco para apoyar el tubo, y él está apoyado en la montaña, como lo estará también el lavadero. Este se formará con un paredón de veinte pies [5,6 m] de grueso y que tendrá aún más altura, para recoger en su nivel, de una parte el agua que baja de un arroyo de la montaña, y de otra el humo que vendrá por los tubos en la forma dicha» (ADARO, 1981).

La detallada explicación permite comprobar que, en lo fundamental, el diseño seguía el esquema del modelo de Dundonald establecido en Bradley, aunque Casado lo perfeccionó, adoptando varias de las recomendaciones propuestas por Betancourt e incorporando unos condensadores similares a los ideados por Garza. Favorablemente impresionado con el resultado de la inspección, Jovellanos no dudó en calificar el horno como una «obra de muy gran mérito».

A finales de ese mismo mes de noviembre comenzó también el transporte del carbón por las primeras cinco leguas (27,9 km) del río Nalón, comprendidas entre Sama de Langreo y Caces. Como reconocimiento a esta proeza técnica, el 3 de diciembre Casado fue ascendido a ingeniero director (exp. personal). Al día siguiente, Valdés le comunicó que debería trasladarse a Cádiz para ocuparse de la instalación de la máquina de sierras de vapor (ADARO, 1981). Pero, siendo aquel un invierno de abundantes nieves, su partida se demoró, por necesitar más tiempo para instruir a los trabajadores que se deberían encargar del funcionamiento del horno.

Poco después, el 21 de diciembre, Casado envió al ministro un cajón con dos muestras de carbón de piedra de las reales minas de Langreo, para que, si lo creía conveniente, se las enseñase al rey. Afirmaba que eran de mejor calidad que los carbones de Newcastle e incluso que el «*cannel-coal*» de

Lancashire, e indicaba que cada uno de los pedazos llevaba pegada una etiqueta «con la explicación de sus cualidades y esencia de sus principios constituyentes, arreglada a los análisis que tengo hechos de los carbones de este principado en enero y febrero de 1792 y en especialidad de los de las 83 minas, que beneficia por su cuenta la Real Armada». Señalaba que ya se habían extraído dos millones de quintales (92.019 t) de carbón, de los cuales 1,65 (75.915 t) eran de igual calidad que el pedazo de las minas de Langreo, y los otros 350.000 (16.103 t), de la misma especie y variedad que el pedazo de las minas de La Riera. Añadía también que «el coak que sale de estas dos variedades de carbón de piedra, es de la mejor calidad que se conoce para las fundiciones y demás tratamientos del hierro, especialmente el de las minas de Sama, que es una verdadera Lithanthrax athipha, tan apreciada entre los ingleses, y aún más que el Welch Coal del Principado de Gales»⁵⁷.

Para poner a punto la marcha del horno, Casado asistió sin interrupción a las primeras faenas de carbonización, llegando a meterse por las parrillas y por la boca de carga para inspeccionar el proceso. De resultas de ello, el 1 de abril de 1794 padeció una grave intoxicación por inhalación de gases que le puso «a las puertas de la eternidad», lo que finalmente le obligó a abandonar Asturias para restablecerse⁵⁸. No obstante, antes de partir, el día 23 de ese mismo mes escribió a Valdés comunicándole que ya había instruido en las manipulaciones químicas a Rosendo Gómez, primer ayudante del director de las minas, y que estaba acabando de poner al corriente en las faenas a los operarios del horno.

El 26 de abril, Tavern comunicó a Valdés que ya se habían reducido a coque unos mil quintales de carbón (46 t), obteniendo la nafta alcalina, el aceite y el alquitrán, aunque en escasas cantidades por tener aún pocos tubos condensadores y faltar dos cajas de condensación. Añadía que el horno era la mejor obra de esta clase que había en Europa y que le parecía magistral (ADARO, 1981). El expediente personal de Casado refiere, asimismo, que el excelente alquitrán que se extrajo del carbón de piedra fue enviado en botijas al arsenal de La Carraca y se aplicó a las piezas del mecanismo de la máquina de sierras allí depositadas, para preservarlas de la corrosión.

El plano titulado «Número 46 del río Nalón y 35 de Langreo», primorosamente delineado y lavado por la comisión de planos encargada de realizar las

(57) AGMAB, Arsenales, Asuntos Particulares, leg. 1794, n.º 54; cit. por ADARO, 2003.

(58) El estallido de la guerra contra la Convención obligó a que, el 3 de febrero de 1794, el conde de Campo de Alange ordenara a Casado establecer la fábrica de municiones proyectada en la confluencia de los ríos Nalón y Trubia. En abril se dispuso que el teniente coronel Ignacio Muñoz de San Clemente, subdirector de las fábricas de municiones navarras de Eugui y Orbaiceta, sirviera junto con el ingeniero de Marina en dicha comisión. No obstante, al verse obligado Casado a abandonar Asturias, la obra quedó a cargo de Muñoz y de Tavern, hasta que en septiembre se nombró al brigadier Francisco Vallejo nuevo director. Estos cambios determinaron que tanto los dos altos hornos finalmente construidos como las trompas que debían proporcionarles el viento necesario tuvieran un diseño diferente del concebido por Casado, hecho que resultó decisivo en que fracasase el intento de fundir el hierro con coque.

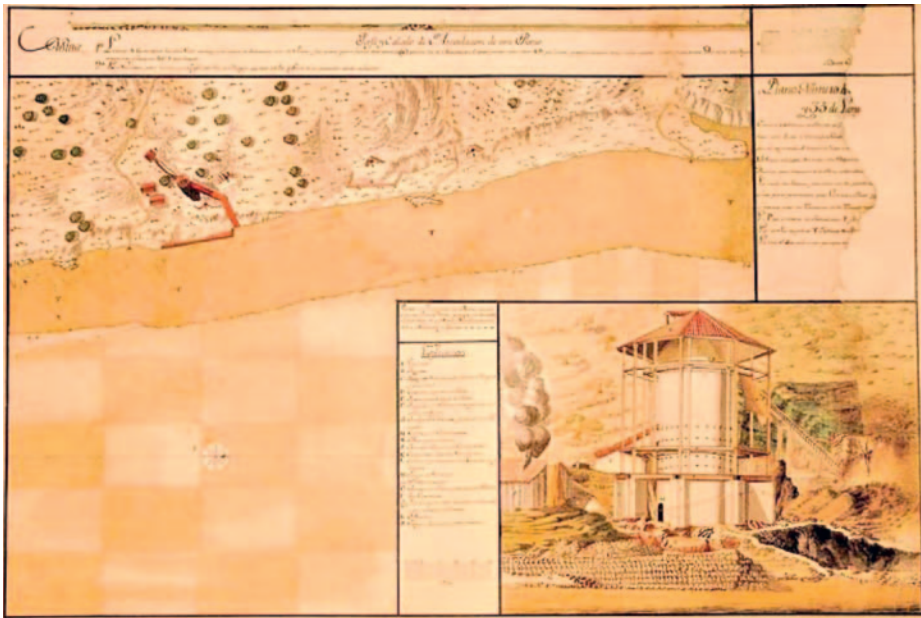


Fig.11. «Plano núm. 46 del río Nalón y 35 de Langreo». (FUENTE: AGMAB)



Fig. 12. Fragmento del plano anterior, en el que se representa el horno de La Riera y su entorno inmediato



Fig. 13. Vista perspectiva del horno de La Riera, realizada el 3 de mayo de 1794, con indicación de los distintos elementos que lo componían: *A*, guardilla; *B*, tinglado; *C*, pilares de madera para sostener el tinglado y corredor; *D*, corredor superior de hierro; *E*, puerta para cargar el horno; *F*, tinglado de madera para defender los vientos y las aguas; *G*, rampa de madera por donde sube el carbón; *H*, cañería del condensador; *I*, arco que la sostiene; *J*, primera arqueta del condensador; *K*, corredores para los ventiladores; *L*, columnas que sostienen los corredores y tinglados; *M*, puerta del cenicero; *N*, ventiladores; *O*, rampa de piedra para subir el carbón; *P*, una carbonera; *Q*, paredón que se está haciendo en sillería para conservar el terreno; *R*, malecón; *S*, fragua provisional para herramientas

nivelaciones del curso fluvial, muestra la representación cartográfica del horno y de su entorno inmediato en aquel momento. Ya estaba terminada la primera arqueta del condensador, y se dibuja la posición de las otras dos proyectadas por Casado, con el característico color amarillo empleado para los elementos pendientes de ejecutar. Aparecen también las casillas o chami-zos de los herreros, provistas de una fragua provisional para herramientas; la rampa de madera que comunicaba el horno con la orilla del río, y el paredón de sillería que se había construido en esta última para defender el terreno de los arrastres provocados por la corriente (figs. 11 y 12). El aspecto externo del dispositivo también puede ser conocido con bastante detalle, ya que el documento incorpora una vista perspectiva, realizada el 3 de mayo de 1794, en la que se identifican los distintos elementos que lo componían mediante una serie de letras (fig. 13).

Resulta llamativo que el remate de una construcción tecnológica tan novedosa y el comienzo de las operaciones de destilación del carbón mineral no fueran recogidos por ninguno de los periódicos nacionales que habían estado tan atentos al desarrollo de este tipo de experiencias en el extranjero. La ausencia de noticias induce a conjeturar que la Marina querría mantener cierta confidencialidad sobre esta información, lo que sería razonable en un momento en el que el país se encontraba en guerra con Francia y habían resultado destruidas las fábricas de armas próximas a la frontera pirenaica.

No obstante, lo novedoso y llamativo de la construcción había despertado tal expectación en la zona que llegó a provocar un serio conflicto de jurisdicciones. Este se desencadenó cuando la curiosidad animó al juez primero y noble en el concejo de Langreo, Fernando de la Riva Valdés Coalla, a acudir el 12 de agosto a ver las obras, como particular y acompañado de otros familiares. Al serle impedido el paso por los guardas nombrados para la custodia del horno por no contar con licencia de Tavern, se prevaleció de su autoridad para contravenir la prohibición y entrar hasta las galerías exteriores, amenazando a los vigilantes con prenderles por el uso de chuzos. Basándose en el parte emitido por el celador Tomás Abal, los hechos fueron denunciados por el interventor de las reales minas de Langreo ante la Real Audiencia de Oviedo, y se llegó a solicitar un fuero particular para los establecimientos del río Nalón dependientes de la Marina. En su descargo, el juez, que ya había tenido algunos encontronazos con los responsables de dichas empresas⁵⁹, alegó que «a otros infinitos se les ha permitido la entrada sin la menor repugnancia, siendo muchos, los que de la Ciudad [Oviedo], y otras partes concurrieron a ver una obra que no tiene igual en la provincia, y de que se promete conocida utilidad»⁶⁰.

Lo delicado del caso llevó a Valdés a solicitar el asesoramiento jurídico de Jovellanos. En el informe que este emitió el 10 de septiembre de 1794 consideró la actitud del juez injustificada y reprehensible. Pero, basándose en el principio de que la autoridad civil debía ser una e indivisible para todos y sobre todos, no vio justificada la necesidad de establecer un nuevo fuero, entendiendo que la autoridad económica de los directores de la empresa debería ser suficiente para mantener la subordinación y el orden en ella. Consideraba, además, que el empeño de establecer un juzgado absoluto no podía provenir de Casado, sino que debía haber sido inspirado «por alguno que quiera saborearse con un mando que él mismo desdeñaría». No obstante, creía que más adelante se necesitaría disponer de una ordenanza de policía general para las empresas del Nalón y nombrar un magistrado encargado de ejecutarla, aunque su jurisdicción debería tener por objeto más bien las cosas que las personas (ADARO, 1981).

No se tienen más noticias del horno hasta el 5 de octubre de 1794, fecha en la que se produjo una explosión que lo inutilizó. Las referencias de este grave incidente son escasas y presentan, además, discrepancias y contradicciones. Así, Manuel Álvarez de Toledo, celador fiscal de los establecimientos del río Nalón, señaló en una instancia-solicitud que dirigió al rey en 1801: «El orno

(59) Siendo De la Riva propietario de un terreno en la parroquia de Turiellos (Langreo), en el que Casado descubrió una mina que fue explotada por la Marina, había reclamado, sin éxito, una contraprestación por los carbones extraídos. El expediente también pone de manifiesto la existencia de algunas otras causas civiles que había abierto a trabajadores de las empresas, como una por estupro contra el maestro entibador Vicente Herrán, o por riñas y pendencies de los sobrestantes (ADARO, 1981).

(60) Representación dirigida a Valdés y fechada en La Felguera el 10 de septiembre de 1794; reproducida por ADARO, 1981.

que seizo para el efecto de la carbonización de partículas crasas, reventó a la primera ornada quedando el experimento innato» (ADARO, 1981). Por su parte, Manuel M.^a Gutiérrez (1831) indicó: «... hízose la primera igneación del horno, cargándolo con más de 1000 quintales [46 toneladas] para reducirlo a coake y aprovechar en los receptáculos los elementos de este fósil, y no pudiendo sufrir el peso de una combustión tan horrorosa, se voló una de las casetas y quedó inservible». En cambio, los miembros de la comisión creada en 1829 con el fin de proponer las medidas necesarias para promover la explotación de las minas de carbón del Principado de Asturias, manifestaron: «... se construyó un gran horno para estraer el gas hidrógeno carbonado, que allí no podia tener aplicacion alguna; (...) el horno se reventó porque un curioso aplicó una luz á la corriente del hidrógeno, ...» (EZQUERRA y otros, 1831). En la misma línea, Salvador Fernández Penedo (1969) fue más explícito, refiriendo que «por haber acercado imprudentemente uno de los horneros un velón encendido al chorro de gas, se había producido una explosión en la cámara principal, que además de reventar los muros de fábrica había causado dos muertos y tres heridos, dos por quemaduras y uno por traumatismo».

A este inconveniente se vinieron a añadir las dificultades económicas que atravesaba el Real Erario. Debido a ello, el 8 de mayo de 1795 la Mesa de Arsenales encargó a Tavern que estudiara la manera de reducir los costes en las obras de los establecimientos de la Marina en Asturias. El 5 de junio el ingeniero remitió un informe donde indicaba que en enero Casado había dispuesto que los treinta mil reales de vellón consignados para el horno se emplearan para los gastos de carbonización u obtención del coque, para el carenado de las chalanas ya construidas, para terminar de construir el muelle empezado junto al horno, y para otras obras anejas al mismo, como la ampliación de los tubos y cajas de condensación de humos y vapores. Concluía solicitando que al menos en dicho año no se redujesen las consignaciones, y que al siguiente se confeccionaran unos nuevos presupuestos con los ahorros que se estimaran convenientes (ADARO, 1981).

Pero en noviembre de 1795 se produjo la dimisión de Valdés como ministro de Marina, por sus desavenencias con el secretario de Estado, Manuel Godoy, siendo sustituido por Pedro Varela y Ulloa. El nuevo titular de la cartera estableció una política de recorte de gastos que fue continuada por su sucesor, Juan de Lángara y Huarte, tras el nombramiento de Varela como ministro de Hacienda en octubre de 1796, lo que, en opinión del propio Valdés, terminaría abocando a la Marina a su decadencia⁶¹. Todo ello vino a coincidir con un drástico cambio de alianzas. Así, tras firmar el armisticio con Francia (Paz de Basilea, julio de 1795), se suscribió con dicha nación el Tratado de San Ildefonso (agosto de 1796) y se declaró la guerra a Gran Bretaña (octubre de 1796), que se desarrollaría en el mar y requirió recomponer los armamentos de los buques.

(61) «Reflexiones sobre el estado actual de la marina, el origen y progresos de su decadencia y modo de remediarla»; reproducido por PAVÍA, 1873.

En este delicado contexto, a mediados de 1796 Varela recibió la memoria escrita en 1789 por Casado titulada «Sobre la necesidad que hay de adoptar el sistema de fundición de hierro con carbón de piedra en las fábricas de artillería de La Cavada» (HELGUERA, 2012). La presión de las circunstancias le llevó a ordenar la realización de un nuevo intento de aplicar el coque en las instalaciones cántabras. Esta vez las pruebas se practicaron en el horno Nuestra Señora del Pilar, pero el 17 de agosto José Valdés le comunicó su incapacidad para lograrlo, proponiendo como solución que se preparase en Asturias dicho combustible con más esmero y se contratase a un técnico extranjero⁶². En vez de ello, el 9 de noviembre Casado fue ascendido a brigadier y nombrado comandante de los establecimientos marítimos de la costa de Cantabria, en los que quedaban comprendidos tanto las fundiciones de Liérganes y La Cavada como las reales minas de Langreo y las obras y empresas del río Nalón (ANÓNIMO, 1797).

Su designación conllevaba el mandato expreso de solventar el persistente fracaso técnico y el encargo de reconocer los contornos de las fábricas metalúrgicas, para ver si podía descubrir algún filón de carbón próximo. Tras obtener resultados esperanzadores en las localidades de Viérnoles y Villanueva, el 7 de septiembre de 1797 remitió a Lángara un informe en el que adjuntaba los resultados provisionales que había obtenido en tres análisis químicos⁶³, aunque manifestaba su intención de repetirlos con más detalle cuando concluyera «el aparato neumático que se está habilitando para recoger los gases y apurar más la condensación de los vapores que se desprenden durante la operación»⁶⁴. Al igual que otros mineralogistas contemporáneos, afirmaba que a aquellos que tenían «un conocimiento regular en esta parte de Física que abraza los betunes minerales» les bastaba simplemente con inspeccionar un pedazo de carbón de piedra para poder clasificarlo como de mala, mediana, buena o excelente calidad, sin necesidad de hacer experimentos⁶⁵. A pesar de ello,

(62) AGMAB, La Cavada-Liérganes, leg. 19, 1796-97, 2^o; citado por ALCALÁ-ZAMORA, 1974.

(63) Indicaba: «... obtuve en la primera análisis 67,51% de coak o carbón mineral puro, 8,35% de aceite cáustico, 6,69% de flema alcalina y 17,45% de los gases o vapores, que no pudieron recogerse, por falta del correspondiente aparato; en la segunda, se recogieron 5,40% de flema alcalina; 9,16% de aceite cáustico, con 63,85 de coak; y en la tercera se hallaron 9,95 de aceite cáustico, 6,28 de flema alcalina y 61,48 de coak».

(64) Probablemente se tratara de un dispositivo similar al que había diseñado y utilizado en Langreo en 1792, pero no se han podido localizar más datos acerca del mismo.

(65) A pesar de su meritorio espíritu científico, Casado no fue capaz de vislumbrar que la enorme complejidad del proceso siderúrgico quedaba fuera del alcance de los conocimientos de su época. El coque resulta óptimo para elaborar hierro en altos hornos ya que sus propiedades físicas y químicas le permiten intervenir como combustible, agente reductor, carburante y soporte permeable, soportando las condiciones extremas del proceso. Para ello conviene que presente una buena resistencia mecánica, así como una textura porosa adecuada. Pero estas características derivan de microestructuras cristalinas opuestas, lo que requiere la búsqueda de un equilibrio difícil de conseguir (DÍEZ, 2013). Así pues, para producir un coque siderúrgico de altas especificaciones y calidad uniforme es imprescindible determinar las características físico-químicas, plásticas y petrográficas de los carbones empleados en la mezcla, así como las variables operacionales (ARDILA, 2013).

había ensayado el carbón de Viérnoles en cuatro coladas en uno de los hornos de reverbero con inmejorable resultado, por lo que consideraba que su coque sería tan bueno para los altos hornos como el que se empleaba en Bradley o el mejor de Asturias. También atribuía los fracasos que se habían padecido en La Cavada a que el diseño de los hornos no era adecuado para el uso del coque y a que los barquines no eran capaces de insuflar la cantidad de aire necesaria para su conveniente deflagración⁶⁶. Tres meses después, el 7 de diciembre Casado comunicó a su superior que no conseguiría sustituir el carbón vegetal hasta 1799 o 1800. Pero a pesar del afán que desplegó para lograr dicho objetivo, sus previsiones se vieron frustradas por un grave enfrentamiento que mantuvo con el segundo comandante de la factoría, Wolfgang de Mucha, y que motivó la destitución de ambos en la primavera de 1798⁶⁷.

Tras este incidente, en octubre Casado estuvo algún tiempo en la fábrica de municiones de Trubia y posteriormente pasó a reconocer las minas de Langreo⁶⁸. Todas las tentativas que se habían realizado para fundir hierro con coque, desde que el 11 de mayo de 1797 se puso fuego al primer horno trubieco, habían fracasado, por lo que el capitán de Artillería Francisco Javier Datoli⁶⁹, que se encontraba a cargo de aquellas operaciones metalúrgicas, había requerido la ayuda del catedrático de química del Real Colegio de Artillería de Segovia, Louis-Joseph Proust⁷⁰. El científico francés viajó a Asturias en el

(66) AGMAB, La Cavada-Liérganes, leg. 19, 1796-1797, 2.º; reproducido por ALCALÁ-ZAMORA, 1974.

(67) El mal ambiente que reinaba en la factoría de resultas de este antagonismo llevó a que, el 21 de junio de 1797, Lángara encargase a Jovellanos la realización de una visita en comisión secreta para que informara lo que estimase más conveniente al real servicio. El prócer inspeccionó el establecimiento los días 28 y 29 de dicho mes, y el 12 de diciembre emitió su informe, donde recomendaba el relevo de los dos oficiales (JOVELLANOS, 2008).

(68) Carta dirigida el 20 de octubre de 1798 por Tavern a Lángara; reproducida en ADARO, 1981.

(69) Estando destinado en 1793 en las fábricas de municiones de Eugui y Orbaiceta (Navarra) como teniente graduado de capitán; participó en la guerra contra la Convención, destacando en combate. Tras ser destinado Ignacio Muñoz a Asturias, para ayudar a Casado en el establecimiento de la fábrica de Trubia, el 24 de mayo de 1794 Datoli se hizo cargo de las factorías navarras. Con la toma e incendio de estas por los franceses en octubre, Datoli pasó igualmente a Trubia, junto con el brigadier Francisco Vallejo.

(70) Los contenidos de química, mineralogía y metalurgia que se impartían en la academia miliar segoviana y resultaban imprescindibles para los oficiales que tenían que dirigir las fábricas de armamento, fueron reformados y ampliados en 1785, tras acceder el conde de Lacy al cargo de inspector general de Artillería. Ello propició el retorno del reputado químico francés a España, quien pasó a dirigir el real laboratorio de aquella institución militar (GONZÁLEZ y otros, 2020). Al solicitar su ayuda, Datoli remitió a Proust una descripción sobre las características y funcionamiento de los altos hornos de Trubia (AGS, Guerra Moderna, leg. 5721; cit. por ADARO, 1986). Y, aunque en la visita que Jovellanos realizó a dicha fábrica el 9 de agosto de 1797 se extrañó de que los artilleros no conocieran las obras sobre el carbón de piedra de Venel y de Morand (GARCÍA y DÍAZ, 2011), Datoli demostraba en su memoria estar al día de lo publicado sobre el asunto, pues no solo cita a esos dos autores, sino también los trabajos de Vandermonde, Berthollet y Monge, Duchamel, Lavoisier, Gensanne, Wilkinson y Wendel, Jars y Faujas.

otoño de 1798, por lo que la estancia de Casado en Trubia tuvo por objeto reunirse con ambos para intentar solventar los problemas surgidos. Después, Datoli y Proust le acompañarían a visitar las minas de Langreo y el horno de La Riera, lo que daría ocasión al artillero para redactar la segunda descripción del mismo que se conserva⁷¹.

La explicación coincide sensiblemente con la proporcionada en su momento por Jovellanos, aunque refiere un diámetro para la torre de 24 pies (6,7 m). En general, resulta más completa, ya que especifica que en su interior se disponía otro cilindro o «camisa» de piedra refractaria, en el que se depositaba el carbón de piedra a convertir en coque, quedando entre ambos cuerpos un espacio de medio pie (14 cm). También precisa que la cañería que conectaba el horno con la primera caja de condensación tenía 75 pies (20,9 m) de longitud. El condensador, apenas esbozado por Jovellanos, se describe de la siguiente manera:

«... la primera caja o quartito de condensación: el humo circula dentro de él herméticamente cerrado, y va enfriándose lentamente con el auxilio de dos cañerías de agua viva que le atrabiesan o cruzan, hasta que del todo se condensa y verifica el depósito de las materias fluidas: otra segunda cañería pegada a la caja primera y de igual longitud conduce los vapores restantes a otra casita o quarto, que tiene las mismas dimensiones y caños de agua que la antecedente, y en ella se acaba de verificar la condensación de las demás partes oleosas, que el fuego estrahé y lebanta del carbón encerrado dentro de la camisa».

Además, enumera los productos útiles resultantes del proceso:

«... siendo el principal la naphta que es una especie de aceite bituminoso o betún mineral, y que sirbe de escelente alquitrán para poder emplear en los diferentes usos de la marina, también se recoge agua stílca para los curtidos, sal de ammoniaco, y hasta el humo se puede aprovechar para la imprenta y pintura; pero lo que admira más es, q^e después de estas extracciones notables queda dentro de la camisa del horno una materia carbonosa y ligera, y en ella el verdadero coak que se quema sin olor y sin llama».

Los avanzados conocimientos en la materia quedan demostrados al referir seguidamente los porcentajes de cenizas que dejaban los carbones de La Rionda y La Riera, y clasificar ambos como de superior calidad según el novedoso

(71) «Real horno de desazufrar el carbón de piedra o de reducirlo a koak», manuscrito depositado en la Real Academia de la Historia (RAH) junto con los papeles recopilados por Francisco Martínez Marina para la realización del *Diccionario geográfico* que le encargó la citada institución en 1800 (ref. 9-6034-6038; reproducido por ADARO, 1981). Aunque el documento es anónimo, ciertos detalles permitirían atribuir su autoría a Datoli. Otro manuscrito, titulado «Hornaguera de Asturias», redactado en 1805 y conservado igualmente en la RAH, indica que Datoli había escrito varias memorias sobre el asunto, pero que «sus ocupaciones y modestia, no le habrán hasta ahora permitido darlas al público, lo que es bien sensible».

método ideado por Richard Kirwan, basado en la cantidad necesaria de coque para descomponer por medio de la detonación cien partes de nitro puro⁷².

Por otra parte, el fuerte temperamento de Casado también le llevó a indisponerse con Benito Fernández, ministro de la Real Hacienda en las reales minas de carbón de piedra de Asturias. En este caso, el ingeniero acaparó algunas facultades sobre administración de gastos y nombramiento y despido de personal que por ordenanza le correspondían a aquel. Entre otras medidas, nombró a Felipe del Fueyo para la custodia del horno; a Bernardo García, como peón de confianza, y a Bartolomé Pereyra como rondín de la carena de chalanas. Además, destinó a uno de los ayudantes de la dirección a que se encargara de la cuenta y razón de las obras del horno, en sustitución del oficial supernumerario Tomás Abal –que había sido nombrado por real orden para aquel objeto–, y trasladó a este al real astillero de Ribota (Laviana) en lugar de Juan de Torre, al que despidió. Fernández advirtió a Casado de que dichas disposiciones contravenían lo ordenado, pero este le respondió que «residían en él facultades para todo, por su mando». Elevada la correspondiente queja al intendente general de Ferrol, en enero de 1799 la Secretaría de Marina desaprobó la conducta del brigadier y dispuso que se observara lo establecido en las Ordenanzas (ADARO, 1981).

Para entonces, Casado había sido nombrado director de la fábrica de armas de Trubia, pero una grave enfermedad le impidió tomar posesión de dicho cargo. Tras restablecerse, el 28 de octubre de 1799 fue designado para suceder al teniente general Gonzalo O’Farril en la comisión de límites entre España y Francia, sin que volviera a tener relación con las cuestiones metalúrgicas durante el resto de su trayectoria profesional (exp. personal). Con la separación definitiva de su impulsor, el horno de La Riera debió de quedar inactivo, pues no aparece ninguna referencia al mismo en los estados de los trabajos ejecutados y de los jornales devengados y satisfechos de los siguientes años (ADARO, 1981).

Además, las graves dificultades financieras y la falta de resultados hicieron que Jovellanos cambiará drásticamente de opinión, llegando a afirmar: «... lo cierto es que el horno se hizo, que su costo fue inmenso, que se encendió una sola vez, que tuvo no sé qué quiebra, que después acá no se volvió a cargar y que, en fin, no ha carbonizado todavía una sola onza de carbón»⁷³. A la vista de ello, reclamó que se destinasen las partidas económicas asignadas a la canalización de Nalón y al horno a dos de sus proyectos que permanecían

(72) La regla general de Kirwan se publicó en Dublín en 1796 en un pequeño panfleto titulado *Of the Composition and Proportion of Carbon in Bitumens and Mineral Coal*, que tuvo escasa difusión. Al año siguiente fue reproducido en la revista *The Transaction of the Royal Irish Academy* (vol. 6, pp. 141-167), y en febrero de 1798, en la más prestigiosa *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts* (pp. 487-496). Así, los análisis de los carbones de Langreo por el método de Kirwan se pudieron llevar a cabo ese mismo año.

(73) Nota manuscrita sin fechar (JOVELLANOS, 2008). En ella indicaba también que el horno era del tipo «de los que llama Casado de Dundvard», término que hace referencia a la comarca escocesa de Dunbar, donde se extendieron los primeros hornos de tipo Dundonald.

desatendidos: la construcción de un camino carbonero de Langreo a Gijón que facilitara la conducción del carbón destinado a los usos civiles, y la dotación del Real Instituto Asturiano en esta última localidad, para formar buenos mineros y pilotos con los que crear una marina carbonera (NOCEDAL, 1859). Asimismo, el 14 de mayo de 1799 el brigadier de la Real Armada José Valdés, que había sido repuesto interinamente en la comandancia de las reales fábricas de La Cavada y sus dependencias y nombrado el 27 de diciembre de 1798 director de la citada institución académica, informó al ministro de Marina que el concejo de Siero solicitaba veinte mil reales mensuales para la ejecución del camino carbonero propuesto por Jovellanos, y aducía que el horno de desazufrar era inútil y tenía una dotación de treinta mil reales (ADARO, 1891).

El 15 de julio de ese mismo año, el director general de Minas, Francisco de Angulo, en el transcurso de un recorrido geognóstico por Asturias, visitó el horno, del que recogió en su diario de viaje una somera descripción⁷⁴. Aunque resulta muy farragosa, refiere algunas dimensiones distintas a las anteriores y revela el añadido de tres «respiraderos» o conductos hacia los destiladores⁷⁵:

«La caldera del horno de desazufrado tiene 13 pies [3,6 m] de diámetro interior. De ellos se toman dos [0,6 m] para el intermedio o hueco entre ella y la camisa. Dos pies [0,6 m] tiene de grueso esta y por consiguiente queda reducido a 5 pies [1,4 m] el hueco donde se coloca el carbón. La camisa como la caldera es cilíndrica con su media naranja. Tampoco llega la camisa hasta arriba. A los respiraderos existentes se están agregando o han agregado ya 3 más de los cuales el último tiene 48 pies [13,4 m] mios; el penúltimo 76 [21,2 m] y el antepenúltimo que forma la vuelta de una herradura tiene 67 [18,7 m]. Los dos respiraderos que existían antes tendrán una línea de 200 pies [55,7 m]. De ellos el primero va horizontalmente; el segundo suve con bastante rapidez y los tres últimos bajan con una cortísima inclinación. Los cañones de barro toman por una media vara [0,4 m] de diámetro».

A la paralización del horno se vinieron a sumar los efectos de una riada catastrófica que en la noche del 17 de noviembre de 1800 devastó las obras de canalización del Nalón, lo que requirió mayores gastos para afrontar las reparaciones y generó un déficit creciente. Así, cuando en 1802 el teniente general Domingo Pérez de Grandallana accedió a la Secretaría de Estado y del Despacho Universal de Marina, solicitó varios informes sobre el estado, progreso y utilidad de las minas de Langreo. El informe redactado por el capitán de fragata Juan Bautista Aguirre, 2.º comandante de las fábricas de La Cavada y sustituto de Tavern al frente de los establecimientos carboneros en Asturias y de navegación del río Nalón, recomendaba abandonar estas empresas. Respecto al horno y sus obras accesorias, indicaba que se habían construido con

(74) Documento inédito depositado en la biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (sign. I/6-12-9).

(75) Gutiérrez (1831) señalaría más tarde, en cambio, que el horno contaba en total «con cuatro conductores terminados en igual número de casetas».

increíble suntuosidad, pero que ya habían sufrido un sensible deterioro (ADARO, 1981).

Dada la precaria coyuntura económica, el 1 de octubre de 1803 se le encomendó redactar el plan de abandono de las instalaciones. En él expuso que el horno de carbonizar era la única obra de consideración de cuantas se habían hecho, pero que su objeto había sido inútil hasta entonces y era el edificio que tenía menos aprovechamiento. A pesar de ello, consideraba que debería conservarse, manteniendo al guarda encargado de su custodia y a su interventor, Tomás Abal, al que se le debería entregar la intervención de los rezagos que resultaran. No se atrevía a pronosticar lo que convendría hacer con él en adelante, aunque creía que la fábrica de Trubia no podría utilizarlo por el momento, por encontrarse muy distantes entre sí y «a causa de la situación, y otras razones», teniendo que realizar los artilleros del Ejército las carbonizaciones al aire libre⁷⁶.

Por su parte, tanto el capitán de navío Pedro Varela, nuevo comandante de La Cavada, como el brigadier de la Armada Cayetano Valdés se mostraron partidarios de mantener las minas de Langreo con otra organización. También el presbítero José Vicente Pereda, quien en 1804 escribió una «Memoria sobre el carbón fósil» por encargo de la Junta General del Principado de Asturias, consideró que merecían ser atendidas con toda circunspección y que sería una omisión imperdonable y un delito político abandonarlas. Incluso llegó a insinuar que la decisión de la Marina podría ser consecuencia de un golpe político dado por los ingleses, «de los que ha acostumbrado aquel Gobierno en tales casos», para impedir la competencia española en este ramo de comercio⁷⁷. Igualmente, afirmaba que Proust «desmayó al Gobierno obligándole a una resolución, cuyos resultados han sido el abandono del beneficio de las minas de este fósil y la ruina de la provincia en este interesante ramo». Daba a entender con ello que el químico francés habría transmitido al gobierno su opinión de que no sería posible conseguir los combustibles que se necesitarían a diario para alimentar los altos hornos de Trubia, que reprodujo en 1806 en su artículo «Faits pour servir à l'Histoire des charbons de terre» (GONZÁLEZ y otros, 2020). Su parecer se basaba en el poco espesor que solían presentar las vetas de carbón asturiano y, sobre todo, en su alto contenido en piritita, que difícilmente se podría eliminar mediante el proceso de carbonización.

(76) AGMAB, sec. Arsenales, leg. Cañamos, Varios, 1803, II, n.º 76, Nalón y sus empresas; reproducido por ADARO, 1981.

(77) Como precedente relacionado con este tema, cabe citar el asesinato en 1713 de Adrián de Roo, impulsor del complejo industrial textil creado en Sada (La Coruña) a finales del siglo XVII, en el que se encontraba la fábrica de jarcia y lona para los navíos de su majestad. Su muerte se produjo en circunstancias violentas «por instigación de fabricantes extranjeros», según un informe de la época. Previamente, el gobierno inglés había maniobrado para intentar cerrar el establecimiento, tanto por vía diplomática en Madrid y Holanda, como ofreciendo trabajos mejor pagados en Inglaterra a los técnicos y operarios extranjeros que servían en él. (MEIJIDE, 1965).

Pereda, que tuvo ocasión de reconocer el horno de La Riera, fue el último que destacó el mérito de Casado afirmando: «En su construcción se descubre un rasgo brillante de las producciones teóricas que debe poseer este profesor: es muy a propósito para reducir por medio del resudor a verdadero coaks el carbón fósil». Aunque también censuró cierto derroche de suntuosidad al añadir: «Podría serlo más, si se hubiese construido con otra sencillez y menos dispendioso».

Pero, a pesar de estos apoyos, el plan de abandono de Aguirre se llevó finalmente a cabo, sin que haya quedado constancia de cuándo se produjo el desmantelamiento definitivo del horno de carbonización de La Riera. Su historia quedó, así, sumida en el fracaso, y no pasó de ser un intento malogrado de transición de paradigma energético (NADAL, 1975).

Conclusión

El horno de carbonización de La Riera debe ser considerado una pieza clave en la política naval desarrollada por la monarquía borbónica española. Su función debía ser obtener coque, combustible necesario para fundir cañones de hierro a la inglesa, pero también alquitranes y breas, productos estratégicos empleados en el carenado de los cascos de los navíos y la elaboración de las jarcias, de los que España carecía.

Previamente había reventado el primer horno de destilación de carbón construido en España, en 1787, por la Sociedad Económica de Amigos del País de Asturias, y las autoridades de Marina habían rechazado abastecerse mediante asiento del coque producido en dicha región por la Compañía de San Luis en hornos sin recuperación de subproductos. Optaron así por rentabilizar la política de espionaje industrial que durante medio siglo habían desarrollado los sucesivos gobiernos de la nación y que les permitía contar con un técnico formado en los últimos avances de la incipiente química moderna, Fernando Casado de Torres. Con un importante esfuerzo inversor, el horno diseñado por el resuelto ingeniero de la Armada se levantó junto a las ricas minas de carbón de piedra descubiertas en Langreo (Asturias), siendo necesario afrontar también la titánica obra de canalizar el río Nalón para poder abastecer con dichos insumos a las reales fábricas de cañones y municiones de La Cavada y Liérganes (Cantabria), así como a los arsenales de la Marina.

Casado realizó avanzados experimentos para descubrir los fundamentos químicos del proceso de coquización y del siderúrgico, y desterrar así las rutinas inveteradas de los fundidores de oficio. Gracias a ello se convirtió en un precursor del estudio de la aplicación de los productos derivados de la destilación del carbón mineral a los procedimientos industriales, con el mérito añadido de hacerlo desde el punto de vista de la moderna teoría de la combustión, recién planteada por Lavoisier. Sus investigaciones no desmerecen de las realizadas por otros científicos punteros de la época, aunque los informes que redactó dando cuenta de las mismas no tuvieron repercusión al haber quedado

inéditos, posiblemente por ser considerados información sensible por parte de la Marina.

Sin embargo, la peculiar característica de los carbones asturianos, provistos de un alto contenido de azufre, se convirtió en una dificultad técnica insuperable para conseguir un buen coque siderúrgico. Ello, unido al carácter megalómano y excesivamente optimista de Casado, a las urgencias e imprevisiones motivadas por la complicada coyuntura política, a la complejidad de la administración pública y al infortunio, malograron todos sus intentos para conseguir que el horno funcionara con regularidad. El fracaso hizo que la singular obra fuese abandonada y quedase en el olvido, siendo este un tema apenas tratado por la historiografía, a pesar de la gran relevancia que tuvo en su momento.

Bibliografía

- ADARO-RUIZ FALCO, L. (1981). *Datos y documentos para una historia minera e industrial de Asturias I*. Gijón, Suministros Adaro.
- (1986). Los comienzos de las fábricas de municiones gruesas de Trubia y de armas de Oviedo (1792-1799). *Boletín del Instituto de Estudios Asturianos*, 118, 339-451.
- (2003). *Jovellanos y la minería en Asturias*. Gijón, Fundación Foro Jovellanos del Principado de Asturias y Unión Española de Explosivos, S.A.
- ALCALÁ-ZAMORA Y QUEIPO DE LLANO, J. (1974). *Historia de una empresa siderúrgica española. Los altos hornos de Liérganes y La Cavada*. Santander, Centro de Estudios Montañeses.
- ÁLVAREZ MUÑOZ, Evaristo y FERNÁNDEZ DE SAMPEDRO, Lorena (2018). *Biblioteca Geológica y Minera de Asturias hasta 1900*. Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Noroeste, Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo, Universidad de Oviedo.
- ÁLVAREZ-VALDÉS Y VALDÉS, M. (2002). *Jovellanos: enigmas y certezas*. Gijón, Fundación Alvargonzález.
- AMORE, D. (2017). *Napoli, San Pietroburgo e il Mediterraneo, 1777-1861* [tesis doctoral]. Centre de Recherches sur l'Histoire des Slaves.
- ANÓNIMO (1781-1786). *Etat des dépenses de la compagnie d'épurement de charbon de terre, à Valenciennes*. FranceArchives, Portail National des Archives. E 1466, Papiers de famille.
- (1790). «Procès-verbal fait au Jardin du Roi, le 15 avril 1785, sur l'opération du goudron et de l'alkali volatil, tirés du charbon de terre». En FAUJAS, B. *Essai sur le goudron du charbon de terre*. París, 38-41.
- (1797). *Estado general de la Armada. Año de 1797*. Madrid, Imprenta Real.
- (1857). *English patents of inventions: Specifications. A.D. 1772, n° 1.015: Manufacture of mineral tar and oil and accessory products*. Londres, George Edward Eyre and William Spottiswoode.
- (1891). *Copia de los autógrafos del general Morla existentes en la Biblioteca de la Academia de Artillería*. Biblioteca Virtual de Defensa.
- ARANDA Y ANTÓN, G. (1999). La carpintería y la industria naval en el siglo XVIII. *Cuadernos Monográficos del Instituto de Historia y Cultura Naval*, 33.
- ARDILA BARRAGÁN, Marco Antonio (2013). *Cartilla carbones y coques* [en línea]. Disponible en https://www.academia.edu/4288405/CARTILLA_CARBONES_Y_COQUES.
- BALLOT, C. (1978). *L'Introduction du machinisme dans l'industrie française*. Ginebra, Slatkine Reprints.
- BERTOMEU SÁNCHEZ, J.R. y MUÑOZ BELLO, R. (2010). *Azoote y sulfureto*. Debates y propuestas en torno a la terminología química durante la primera mitad del siglo XIX. *Revista de Investigación Lingüística*, 13, 279-306.

- BONET, A. (1988). Un manuscrito inédito de Agustín de Betancourt sobre la purificación del carbón. *Fragmentos: Revista de Arte*, 12-13-14, 279-285.
- BRADLEY, M. (2010). Examples of industrial and military technology transfer in the eighteenth century. *Documents pour l'histoire des techniques, Les techniques et la technologie entre la France et le Grande-Bretagne XVIII-XIXe siècles*, 19, 87-95.
- ČANO HUÉLAMO, O. (2002). *El Rusiano. Almirante e ilustrado zarfleño*. Cuenca, Libros Tobal.
- ČÁRSKY, J. y HERČKO I. (2015). Anton Leopold Ruprecht, a chemist, mineralogist, metallurgist and a distinguished personality of the chemical revolution in the 18th century. *Acta Metallurgica Slovaca*, 21 (4), 339-351.
- CASTILLO MARTOS, M. y LANG, M.F. (2006). *Grandes figuras de la minería y metalurgia virreinal*. Universidad de Cádiz.
- (2019). Desarrollo de la Química moderna desde la Academia de Artillería de Segovia. Joseph Louis Proust en España. *Memorias de la Real Academia Sevillana de Ciencias*, 21, 123-141.
- CASTRONUOVO, S. (1990). *Storia della Nunziatella*. Nápoles, Sergio Civita.
- CIPOLLA, C.M. (1967). *Cañones y velas. Las bases del predominio europeo en el mundo (1400-1700)*. Barcelona, Ariel.
- CLOW, A. y CLOW, N.L. (1942). Lord Dundonald. *The Economic History Review*, 12 (1-2), 47-58.
- COCHRANE, A. (1785). *Account of the qualities and uses of coal tar and coal varnish*. Edimburgo.
- COLL, S. y SUDRIA, C. (1987). *El carbón en España, 1770-1961: una historia económica*. Madrid, Turner.
- COMES, J. (1786). *Memoria sobre el carbón de piedra, para persuadir y facilitar su uso en Cataluña*. Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.
- COMPARATO, G. (2018). *Barthélemy Faujas de Saint-Fond, parcours d'un homme de science mondain au tournant des Lumières (1741-1819)* [tesis doctoral en Historia]. Université Grenoble Alpes.
- CRABIFFOSSE, Cuesta F. (1996a). «El horno de Agustín de Betancourt: ciencia, técnica y carbón en la Asturias del siglo XVIII». En GONZÁLEZ, I. (dir.) *Betancourt, los inicios de la ingeniería moderna en Europa*. Madrid, CEHOPU, 71-77.
- (1996b). «Las artes industriales. La loza». En BARÓN THAIDIGSMANN, F. J. (dir.) *El arte en Asturias a través de sus obras*. Oviedo, Editorial Prensa Asturiana, 645-660.
- DAVID, H. (1938). Une correspondance inédite du grand chimiste Joseph-Louis Proust, apothicaire éclairant sa biographie (1754-1826). *Revue d'Histoire de la Pharmacie*, 101, 266-27.
- DELGADO MACÍAS, Juan Luis (2015). *Del bosque a la fábrica. Técnica y ciencia de la resina de pino en la España contemporánea* [tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Madrid.
- DÍAZ, M. (2020). «El arsenal de Cartagena y Jorge Juan: historia, proyecto, diques y producción de jarcia para la Real Armada». En GARCÍA, M. (ed.) *Las innovaciones de la Armada en la España del siglo de Jorge Juan*. Madrid, CSIC, 557-598.
- DÍEZ, M.A. (2013). Del carbón vegetal al coque en la industria del hierro y del acero. *Fundipress: Revista de la Fundición*, 45, 48-56.
- EZQUERRA, Joaquín; AMAR, Rafael; BAUZÁ, Felipe y GARCÍA, Francisco (1831). *Minas de carbón de piedra de Asturias*. Madrid.
- FAUJAS DE SAINT-FOND, B. (1797). *Voyage en Angleterre, en Écosse et aux îles Hébrides* (2 vols.) París.
- FERNÁNDEZ PENEDO, Salvador (1969). Ante nuestro Polo de Desarrollo Industrial. En *La Nueva España*, viernes 5 de diciembre.
- FILIPPO, M. (2005). «Per una storia dei rapporti fra il Regno di Napoli e l'Impero Russo». En RIZZI, D. y SHISHKIN, A. *Archivio russo-italiano IV*. Salerno, Europa Orientalis, 243-295.
- FORBES, R.J. (1970). *A short history of the art of distillation: from the beginnings up to the death of Cellier Blumenthal*. Leiden, Brill.
- GÁMEZ CASADO, M. (2018). Cañones al óleo. Una alternativa para la artillería de Cartagena de Indias a fines del siglo XVIII. *Gladius: Estudios sobre armas antiguas, armamento, arte militar y vida cultural en Oriente y Occidente*, 38, 159-176.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, M.N. (2006). *Comerciendo con el enemigo: el tráfico mercantil anglo-español en el siglo XVIII (1700-1765)*. Madrid, CSIC.

- GARCÍA BELMAR, A. y BERTOMEU SÁNCHEZ, J.R. (2001). Viajes a Francia para el estudio de la química, 1770 y 1833. *Asclepio*, LIII (1), 95-139.
- GARCÍA, N. y DÍAZ, J. (2011). *Gaspar Melchor de Jovellanos. Los viajes por Asturias (1790-1801)*. ALSA Grupo, S.L.U.
- GARCÍA, P. y MARQUÉS, A. (2017). «Evolución de la tecnología siderúrgica y su influencia en el retraso de la Revolución Industrial en España». En PUCHE, O. y otros (eds.) *Minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo. Nuestras raíces mineras*. Madrid, Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero & Valoriza Minería.
- GARZA, F.C. (1789). *Breve historia del carbón mineral*. IGME, signatura: Ign1-I/3.
- GENSSANE, A. (1770-1776). *Traité de la fonte des mines para le feu du charbon de terre* (2 vols.) París.
- (1779). «Sur le dessouffrement du charbon-de-terre & sur la construction des fourneaux propres à cette opération». En ROZIER, F. (ed.) *Observations sur la Phisique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts XIV*. París.
- GICKLHORN, R. (1963). *Die Bergexpedition des Freiherrn von Nordenflycht und die deutschen Bergleute in Peru*. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.
- GÓMEZ-ALBA, J. (2007). Historia económica, minera y geológica de la cuenca carbonífera de Surroca-Ogassa. *Monografías del Museu de Ciències Naturals*, 4, 15-90.
- GÓMEZ JUÁREZ DE LA TORRE, Fernando Ignacio (2018). *La nueva organización del área económico-administrativa de la Real Armada. Implantación y validación en el Departamento de Cartagena (1772-1788)*. Tesis doctoral. Universidad de Murcia.
- GONZÁLEZ, L.A., GONZÁLEZ PUMARIEGA, P. y GONZÁLEZ, D. (2020). Louis-Joseph Proust y los primeros análisis de carbones asturianos. Crónica de unos ensayos químicos olvidados en la historia minero-industrial de Asturias. *Boletín Geológico y Minero*, 131 (4), 857-878.
- , — y — (2022). La transferencia a España de los conocimientos técnicos sobre el desazufado del carbón de piedra y la obtención de coques y breas hasta 1790. *Llul*, 91, 59-88.
- GONZÁLEZ DE AZAOLA, Gregorio (1825). «Informe sobre la fundición de hierro con hornaguera». En ALCALÁ GALIANO, A. (1974). *Historia de una empresa siderúrgica española: los altos hornos de Lierganes y La Cavada, 1622-1834*. Guarnizo, Diputación Provincial de Santander, Institución Cultural de Cantabria (CSIC) y Centro de Estudios Montañeses.
- GOUZEVITCH, I. y GOUZEVITCH, D. (2011). «Agustin Betancourt and mining technologies: from Almadén to St. Petersburg (1783-1824)». En INKSTER, I. (ed.) *History of Technology XXX. European Technologies in Spanish History*. Bloomsbury, The Institute of Historical Research, University of London, 13-31.
- GUTIÉRREZ, Manuel M.^o (1831). «Economía Política. Carbón de piedra. Carta I». En *Cartas Españolas, o sea, Revista Histórico, Científica, Teatral, Artística, Crítica y Literaria*, Madrid, III, 289-296.
- GUTIÉRREZ, R. (2008). «Ilustración española y pragmatismo americano. El fracaso del proyecto europeo en la minería americana». En PANIAGUA PÉREZ, J. y SALAZAR SIMARRO, N. (coords.) *La plata en Iberoamérica, siglos XVI al XIX*. México D.F., Instituto Nacional de Antropología e Historia, Universidad de León, 99-128.
- HARRIS, J.R. (1998). *Industrial espionage and technology transfer. Britain and France in the eighteenth century*. Ashgate, Aldershot and Brookfield.
- HASSENFRATZ, J.-H. (1791). Compte rendu: Essai sur le goudron du charbon de terre. *Annales de Chimie*, X, 29-37.
- HELGUERA QUIJADA, J. (2011). «The beginnings of industrial espionage in Spain (1748-1760)». En INKSTER, I. (ed.) *History of Technology XXX. European Technologies in Spanish History*. Bloomsbury, The Institute of Historical Research, University of London, 1-12.
- (2012). «De La Cavada a Trubia. Intervencionismo estatal y cambio tecnológico en las fundiciones de artillería del norte de España (1760-1800)». En OCAMPO SUÁREZ-VALDÉS, J. (ed.) *Empresas y empresarios en el norte de España (siglo XVIII)*. Gijón, Trea, 153-181.
- HERRERO, M.D. (1992). *Ciencia y milicia en el siglo XVIII. Tomás de Morla, artillero ilustrado*. Segovia, Patronato del Alcázar.

- HUICI, V. (1931). *Miscelánea de trabajos inéditos varios y dispersos de D.G.M. de Jovellanos*. Barcelona, NAGSA.
- JARS, G. (1770). «Manière de préparer le charbon minéral, autrement appelle houille, pour le substituer su charbon de bois dans les travaux métallurgiques, mise en usage dans les mines de Sainbel». En DUHAMEL, H.-L. *Art du charbonnier, ou manière de faire le charbon de bois. Additions et corrections relatives a l'Art du chabonnier*. París.
- (1774-1781). *Voyages métallurgiques, ou recherches et observations sur les mines & forges de fer, la fabrication de l'acier, celle du fer-blanc, & plusieurs mines de charbon de terre, faites depuis l'année 1757 jusques & compris 1769, en Allemagne, Suède, Angleterre & Ecosse* (3 vols.). Lion y París, Gabriel Regnault.
- JOVELLANOS, G.M. de (2008). «Apuntes varios sobre Langreo y Gijón». En *Obras Completas. X. Escritos Económicos*. Oviedo, Instituto Feijoo de Estudios del Siglo XVIII, KRK ediciones.
- LAFUENTE, A. y PESET, J.L. (1985). «Militarización de las actividades científicas en la España ilustrada (1726-1754)». En PESET, J.L. (ed.) *La ciencia moderna y el Nuevo Mundo*. Madrid, CSIC, 127-147.
- LARRUGA, E. (1793). *Memorias políticas y económicas sobre los frutos, comercio, fábricas y minas de España XXVII*. Madrid.
- LAVOISIER, A. y BERTHOLLET, C.L. (1790). «Rapport de Mrs. les Commissaires de l'Académie Royale des Sciences, sur le goudron minéral tiré du charbon de terre, dans l'expérience faite au Jardin du Roi, par M. Faujas de Saint-Fond». En FAUJAS, B.: *Essai sur le goudron du charbon de terre*. París, 41-48.
- LUTER, P. (2006). Archibald Cochrane, 9th earl of Dundonald (1748-1831): father of the british tar industry. *Broseley Local History Society*, 28, 2-20.
- MANTOUX, P. (1906). *La révolution industrielle au XVIII^e siècle. Essai sur les commencements de la grande industrie moderne en Angleterre*. París.
- MARTÍNEZ GONZÁLEZ, A.J. (2014). La elaboración de la Ordenanza de Montes de Marina, de 31 de enero de 1748, base de la política oceánica de la monarquía española durante el siglo XVIII. *Anuario de Estudios Americanos*, 71 (2), 571-602.
- MEIJEDE PARDO, Antonio (1965). Aportación a la historia industrial coruñesa. Las fábricas textiles de Sada, 1675-1762. *Revista del Instituto José Cornide de Estudios Coruñeses*, 1, 77-126.
- MORAND, J.-F.-C. (1768-1779). *L'art d'exploiter les mines de charbon de terre* (3 vols.) París.
- NADAL, J. (1975). *El fracaso de la Revolución industrial en España, 1814-1913*. Barcelona, Ariel.
- NADAULT DE BUFFON, H. (1860). *Correspondance inédite de Buffon, à la quelle ont été réunies les lettres publiées jusqu'à ce jour II*. París, Libraire de L. Hachette et C.^{ie}
- NEF, J.U. (1977). An early energy crisis and its consequences. *Scientific American*, 237 (5), 140-151.
- NOCEDAL, Cándido (1859). *Obras publicadas e inéditas de D. Gaspar Melchor de Jovellanos*. Madrid, Biblioteca de Autores Españoles I.
- PALACIOS REMONDO, J. (1996). *Epistolario (1777-1821) de Juan José y Fausto Delhuyar*. En *el 200 aniversario de la muerte de Juan José Delhuyar (2-9-1796)*. Logroño, Consejería de Cultura, Juventud y Deportes de la Comunidad de La Rioja.
- PAUL, B.H. (1863). On destructive distillation, considered in reference to modern industrial arts. *Chemical News*, VII, 282-295, y VIII, 56-78.
- PAVÍA, Francisco de Paula (1873). *Galería biográfica de los generales de Marina, jefes y personajes notables que figuraron en la misma corporación desde 1700 a 1868 III*. Madrid.
- PELAYO, F. y REBOK, S. (2004). Un condiscípulo español de Alexander von Humboldt en la *Bergakademie* de Freiberg: Josef Ricarte y su informe sobre el método de amalgamación de Born (1788). *Asclepio*, LVI (2), 87-111.
- PORTELLA, E. (1996). *La química en el siglo XIX*. Madrid, Akal. Historia de la Ciencia 39.
- QUINTERO, J. (2007). Betunes para La Carraca. *Revista de Historia Naval*, XXV (96). Instituto de Historia y Cultura Naval, 87-96.
- RUIZ GARCÍA, Vicente (2018). Maderas de Cataluña para la Marina de la Ilustración. Fuentes para el estudio de los bosques catalanes y su relación con la construcción naval en el siglo XVIII. *Brocar*, 42, 97-123.

- RYSS PONCELET, M. (1811). *Mémoire sur l'appareil de distillation propre a éclairer les ateliers, appartements, etc.* Lieja, J.A. Latour.
- SAINT PASTOUS, J.M.N. (1786). Arte de descubrir y hacer el carbón mineral. En *Memorial literario, instructivo y curioso de la corte de Madrid*, XXVI, 241-242.
- SÁNCHEZ CARRIÓN, J.M. (2009). *Los ingenieros de Marina, motores de la renovación y tecnificación de la construcción naval española (1770-1827). Su organización, Academia y realizaciones* [tesis doctoral] (2 vols.). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Dep. de Arquitectura y Construcciones Navales, Universidad Politécnica de Madrid.
- SANJURJO JUL, J.M. (2007). «La artillería naval en el siglo XVIII y en la batalla de Trafalgar». En PAVÍA PARAREDA, J.J. (dir.) *Cátedra Jorge Juan. Ciclo de conferencias. Curso 2004-2005*. Universidade da Coruña, 19-51.
- SIERRA ÁLVAREZ, J. (2006). De Idria a Cantabria: arqueología de dos presas para flotación de maderas en la cabecera del río Miera a finales del siglo XVIII. *Ería*, 70, 191-209.
- SONENSCHER, M. (1977). *Royalists and Patriots. Nîmes and its Hinterland in the late Eighteenth Century* [tesis doctoral]. University of Warwick.
- SUÁREZ MENÉNDEZ, Roberto (2022). *Las reales fábricas de municiones gruesas de Trubia y de fusiles de Oviedo. De la utopía a la razón (1792-1859)*. Asociación Histórico-Cultural El Volcán.
- TOMORY, L. (2011). Gaslight, distillation, and the Industrial Revolution. *History of Science: an Annual Review of Literature, Research and Teaching*, XLIX, 395-424.
- TORREJÓN CHAVES, J. (1995). «Tecnología e innovación industrial: el ingeniero de Marina Fernando Casado de Torres y la máquina de vapor de doble inyección en el Real Arsenal de La Carraca (1788-1804)». En *VII Congreso Internacional para la Conservación del Patrimonio Industrial*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 465-470.
- TORRES, D. (1785). *Memoria en que se demuestran las utilidades que resultarán de usar el carbon de piedra de las minas de Utrillas, y demás del Reyno, y modo de conducirlo con mayor economía y beneficio a esta capital y otras partes*. Zaragoza, Mariano Miedes.
- TORRES MENA, J.L. (1878). *Noticias conquenses*. Imprenta de la Revista de Legislación, Madrid, 840- 842.
- TOWNSEND, J. (1792, 2nd ed.) *A journey through Spain in the years 1786 and 1787; with particular attention to the agriculture, manufactures, commerce, population, taxes and revenue of that country; and remarks in passing through a part of France II*. Londres, Dilly.
- VILAR, J.B. (2015). *Estudio crítico. Juan José y Fausto Delhuyar Lubice*. Madrid, Biblioteca Virtual de Polígrafos, Fundación Ignacio Larramendi.



Suplemento núm. 37 a la REVISTA DE HISTORIA NAVAL núm. 160 de 2023

latindex

