



# Microsiderurgia

Obtener hierro a partir de sus minerales es una tarea realmente difícil; los siglos de ahí que se hable de la batalla del hierro. Por suerte, varios siglos de experimentación metalúrgica han superado los obstáculos técnicos.

El hierro, así como sus derivados (acero, aceros especiales, entre ellos los inoxidables), es el metal estrella de nuestra civilización. Lógico. Es abundante, tenaz y puede experimentar todo tipo de transformaciones. Además, es barato: podemos comprar hierro por un euro el kilo. Y precisamente por su aparente baratura, este extraordinario elemento tiene hoy fama de vulgar y ordinario. Que el hierro se haya convertido en un metal tan popular y accesible se debe en parte a la industria

metalúrgica, que en estos últimos dos siglos ha fabricado a un precio casi irrisorio una industria potentísima con un componente científico-técnico que es uno de los mayores frutos de la gran obra humana: el horno alto. En esta ocasión, intentaremos conseguir algo parecido. Y para ello aprovecharemos el vasto corpus de conocimiento que han creado los coleccionistas de elementos químicos, arqueólogos experimentales que han perfeccionado a la cuchillería y todos los

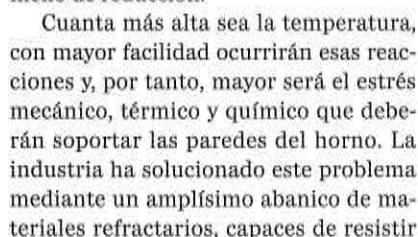
los forjadores que han luchado durante unos tres milenios para obtener el útil. En este sentido, debo enormemente agradecer a Miquel Segura, hábil forjador del metal, que me mostró algunos de los secretos que me han permitido obtenerlos. Constituyen una revisión de los secretos tradicionales, como el método de las páginas [véase «La farga catalana», por Miquel Segura, INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, octubre de 1982], el curso



**COMO LAVA VOLCÁNICA**, la escoria sangra de la bigotera del horno. Con ella se eliminan impurezas, gases y elementos volátiles.

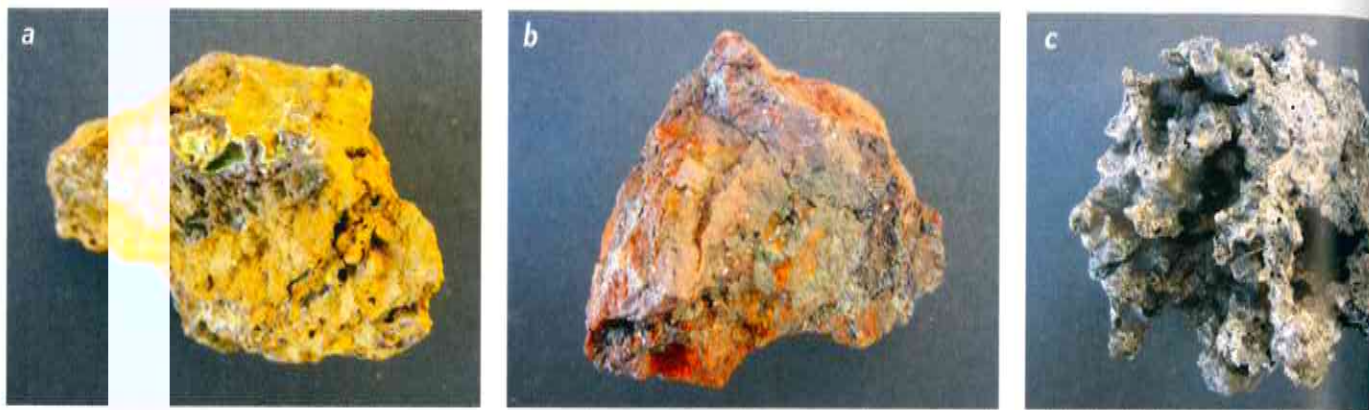


El experimentador siderúrgico debe valorar la fabricación de su propio combustible, ya que la obtención de carbón vegetal sin duda goza de grandes ventajas. Además de las económicas [véase «Las artes del carbonero», por Marc Bouda Ferrer; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, febrero de 2014]. Con independencia de su procedencia, lo fragmentaremos en trozos de 10 o 15 mil-



Quizá lo más fácil es construir un horno por secciones monolíticas, fabricarlos en serie, hacer un molde y de él sacar piezas que, puestas una sobre otra, construyan el reactor. Buscaremos utilizar cas, es decir, tubos o PVC, de las dimensiones diversas para el horno, y sobre este molde, para configurar las paredes dejando en la pieza que el tubo de cerámica superior tiene dos agujeros: uno por donde se cubra el aire (tobera) y otro por donde podremos sacar la escoria (bigotera). Cabe decir que, aunque modificaremos el modo de entran-





nes, debemos conservar las proporciones. Como diría un físico, la razón de aspecto de nuestro reactor es importante si lo que queremos es una buena repetitividad del proceso. La proporción óptima entre el diámetro de la caba ante la tobera y la altura es de 1:1, al menos en los modelos que he ensayado.

Si usamos un mortero refractario, solo debemos hacer un molde en negativo del núcleo del reactor, con un encofrado exterior, y vertido perfectamente amasado. El resultado es espectacular y muy durable, sobre todo si cubriremos en el mortero una malla metálica electrosoldada de 10 milímetros de luz. Decíamos que raramente los materiales comunes soportan las altas temperaturas del horno, que rondan los 1500 °C. Ello es así, no solo por la propia degradación térmica, sino también porque reaccionan químicamente con el mineral, los gases de combustión y los fundentes.

Un célebre metalúrgico dijo una vez que para fundir un buen metal primero hay que obtener una buena escoria. Es bien cierto. Todos los minerales son impuros: incorporan una ganga que dificulta mucho la reducción del metal. A menudo esta ganga es silíceo; a veces calcárea. Los fundentes son aditivos que se añaden a la carga para escorificar la ganga, convirtiéndola en un producto fluido, como si de lava volcánica se tratara; así la podemos sangrar fácilmente por la bigotera. El fundente más utilizado es la roca calcárea. Le siguen la alúmina, la fluorita, el bórax o el carbonato sódico, que obra milagros. La caliza (carbonato cálcico) y el carbonato sódico son compuestos básicos, que se combinan con la ganga silícea más ácida haciéndola fluida —en realidad estamos fabricando algo muy parecido al vidrio—. Por otro lado, el papel es también el de un afinante, ya que secuestra elementos y compuestos indeseables. Además, los

óxidos de hierro también participan en la reacción, se disuelven y combinan, y reducen aún más la temperatura de fusión de la escoria formada.

Así pues, nos aprovisionaremos de caliza, bórax y carbonato sódico con los que, con el reactor en marcha, ensayaremos el comportamiento químico de la mena y del propio horno. Resultado: a base de funcionar, el horno adelgaza sus paredes hasta que se perfora. Lo podemos solucionar de dos formas: o compramos morteros especiales, capaces de soportar hasta 1600 °C —con lo que el gasto se dispara—, o ensayamos nuestros propios recubrimientos refractarios, que, aplicados sobre el interior del horno, harán de barrera protectora.

He comprobado la eficacia de mezclas de esmeril (alúmina de origen natural) de grano fino, por ejemplo 400, con pequeñas cantidades de distintas arcillas. También funciona una mezcla a base de otro subproducto de nuestra caldera de carbón vegetal. En efecto, de los humos de la carbonera podemos condensar un líquido negro, viscoso, tóxico y de olor repugnante, la brea. Una mezcla de esta, perfectamente deshidratada, con polvo de grafito nos dará una pasta que aplicaremos y coceremos lentísimamente in situ. Observaremos que estos recubrimientos tienen un carácter neutro, son anfóteros y, por tanto, pueden resistir con mayor facilidad todo tipo de compuestos en la escoria.

Hecho todo lo anterior habrá llegado el momento de pensar en la inyección de aire. Al moldear el horno hemos dejado un agujero inclinado en el que ajustaremos lo que será la tobera. Se trata de un detalle crítico. Debe hallarse inclinada unos 20 grados. Además, su sección debe tener un cierto tamaño. En este caso, daremos a la boca de la tobera un diámetro de 25 o 30 milímetros. Lo ideal sería fundirla en

cobre, mecanizarla con grafito sinterizado o moldearla con una arcilla realmente refractaria (a base de circonia o alúmina, por ejemplo), pero siempre nos podemos contentar con un simple retal de tubo de acero inoxidable refractario bien grueso. A esta tobera y mediante tubos metálicos acoplaremos una pequeña turbina (servirán un secador de pelo o una pistola de aire caliente). Es importante prever una derivación por la que podamos regular la presión del viento.

Procedamos por fin al encendido de nuestro reactor siderúrgico. Recubriremos el fondo con una capa generosa de arcilla húmeda mezclada con mucho carbón en polvo, la brasca. Sobre esta encendemos fuego, con astillas y algunos carbones menudos. El tiraje será natural, ya que tanto la tobera como la bigotera permanecerán aún abiertas. Cuando el fuego tome cierta entidad, aportaremos más carbón menudo y sellaremos la bigotera con un tapón de arcilla. Luego conectaremos el tubo del viento a la tobera, garantizando una unión segura y estable, incapaz de fallar a media maniobra. Daremos un poco de aire y lentamente aportaremos más combustible hasta llegar a la boca del horno. Esperaremos un rato para que el conjunto se caliente de manera uniforme. En ese punto, aumentaremos el flujo de aire y lo regularemos hasta que la columna de carbón descienda cerca de un centímetro por minuto, poco más o menos.

A partir de ese momento, empezaremos con las aportaciones de carbón, manteniendo constante su altura. Es tradición que el mineral mezclado con los fundentes se cargue a intervalos regulares, interponiendo capas de carbón. Tras un buen número de ensayos, he determinado que el ritmo de carga es de unos 200 gramos de mineral cada diez o doce minutos, a veces algo menos. A estos doscientos gramos sumo 50 de cal y 25 de carbonato sódico.





**TRANSFORMACIONES CASI ALQUIMICAS:** En el proceso siderúrgico, la limonita terrosa y de color ocre (a) muta, tras su tostado, a un vivo rojizo (b). Más tarde, en el horno, se convierte en una esponja metálica, el *masser* o *zamarra* (c), que, una vez forjado y compactado, rinde un bello botón de hierro (d). Durante el proceso se obtiene también una abundante escoria vítrea (e), que se lleva las impurezas.

Además, resulta idóneo incorporar también 25 o 30 gramos de restos metálicos procedentes de reducciones anteriores. Si el carbón es poco calorífico o quema con dificultad, debemos reducir la carga a unos 150 gramos de mineral y las partes proporcionales de fundentes y chatarra.

Una buena norma memorística es que la superficie en centímetros ante la tobera es equivalente a la carga del mineral en gramos, siempre que el funcionamiento del horno sea el correcto. Pero ¿cómo podemos conocer estos parámetros? Pues haciendo al principio aportaciones de prueba. En efecto, una vez hemos encontrado el ritmo adecuado (ese descenso de la carga próximo a un centímetro por minuto), en vez de comenzar por aportar mineral podemos poner solo escoria de operaciones anteriores o, en su defecto, cualquier vidrio machacado. En un ejemplo real ello significa que en la primera media hora ponemos tres o cuatro cargas de unos doscientos gramos de esas escorias o vidrio. De funcionar correctamente, deberíamos extraer los líquidos por la base al cabo de unos 30 o 40 minutos como máximo.

A esa operación se le llama sangrado y ofrece sin duda un espectáculo de especial belleza. Visualicemos el fenómeno. El horno lleva ya un rato en marcha. Por su boca escapa una llama bien visible y podemos percibir el rugido de la combustión. Cuando la escoria líquida desciende y pasa ante la tobera, interrumpe el paso de aire, entrando en una zona turbulenta. Allí, la temperatura es tan alta que permanece líquida, gotea y burbujea, produciendo un sonido característico, algo parecido al flamear de una bandera. Ha llegado el momento de sangrar por la bigotera. Con una barra de hierro aguzada nos abriremos paso a través del tapón de arcilla. Debemos tomar precauciones porque, al retirarlo, la escoria fluirá a borbotones, al rojo vivo, límpida y fluida

lo va bien, espesa y grumosa si la si temperatura es baja o los fundentes son tempopiados para nuestro mineral. De inapue en esta prueba previa utilicemos ahí quetos de fusibilidad garantizada, prod el vidrio común.

come conseguirlo, empezaremos inme- Dnente, ahora sí, a cargar mena y fundiataras. Anotaremos el peso de todo, com- dente y cargas. Estas, como decíamos, busti regularmente introducidas y, de vez seránando, mediante la barra de hierro en cu la boca del horno, comprobaremos y por escienden sin dejar huecos interior- que dos son los principales problemas que res. Duda se presentarán. El primero es la sin dración de la tobera por una escoria obtuifluida, una temperatura demasiado poco o una carga excesiva. Lo resolvere- baja extrayendo el tubo del aire y limpiam- mos tobera con un escoplo, si es necesario do la ayuda de un martillo. El segundo es con le consiste en la obturación de la pro- peor uba. Las causas son las mismas pero pia evolución ya es más difícil. Lo mejor es la res el horno en caliente, es decir, al rojo abrir Levantaremos sección por sección y vivo, eremos con la barra de hierro todo lo extraueda haber de sólido en su interior. que p volveremos a empezar cambiando Luego fuere, ya sea una mayor presión del do qu una mayor granulometría del mine- dre del carbón que facilite la ventilación. tal y oien podemos añadir una proporción tambr de fundentes o buscar una mena mayfusible.

nás roseguiremos aportando mineral y c Pón, y, de vez en cuando (cada dos o carbargas), sangraremos la escoria. Tres res ctro horas más tarde habremos intro- o cual unos cuatro kilos de mena, con lo ducidentro del horno se habrá formado que égulo de casi un kilo, denominado an rter o *zamarra*. Este bloque esponjo- *masser* se poco a poco ante la tobera hasta lo cr a un tamaño que compromete el lega

funcionamiento normal del horno. En ese momento, la zona de combustión se reduce. El *masser* refleja el calor y la pared del horno se funde, como mínimo alrededor de la tobera. Habrá llegado el momento de cesar toda carga y dejar que la columna baje. A medida que lo haga, retiraremos secciones del horno y con una barra de hierro o una tenazas no menos extensas intentaremos despegar la esponja, girándola para que se iguale su temperatura.

Cuando la esponja ya sea casi visible entre las brasas al blanco, desmontaremos la última sección, que tumbaremos sobre el suelo, extrayendo por fin el tan preciado metal. Lo óptimo pasa por tener, justo al lado, una fragua. Llevaremos allí el *masser*, lo caldearemos de nuevo hasta el rojo blanco y empezaremos un lento proceso de forja, compactando el material, de forma que este escupa las inclusiones de escoria. Se romperá en trozos, es inevitable. Pero los de mayor tamaño acabarán formando una bola sólida, especialmente si espolvoreamos sobre este bórax o arena silíceas, que limpiarán y desoxidarán las superficies, facilitando su soldadura.

El hierro obtenido será libre de impurezas y de gran calidad, tal y como pasaba hace siglos. Pero para su uso práctico será necesario endurecerlo, añadir un pequeño porcentaje de carbono que lo convierta en auténtico acero. De nuevo, la carbonera será nuestra aliada. Una vez forjado aquello que deseemos, lo colocaremos en el interior de esta, junto con la madera que queremos carbonizar. Allí, en un ambiente riquísimo en monóxido de carbono, sobre los leños hechos ascuas a más de setecientos grados centígrados, el carbono se difundirá en el hierro, endureciendo su superficie y conservando un núcleo más bajo en carbono (dulce). Repetidas inmersiones en ese infierno acabarán por rendir un material extraordinario, el acero que posibilita nuestra civilización.