

TECNICA Y PRODUCCION SIDERURGICA

M.ª DOLORES MUÑOZ DUEÑAS

En los trabajos sobre la industrialización española no se ha investigado suficientemente la contribución del factor tecnológico al despegue de los diferentes sectores industriales, ni los cambios que, en la marcha posterior del crecimiento económico, introducen las sucesivas adiciones tecnológicas, cambios que alteran notablemente a la composición de las fuerzas productivas (1).

Tuvimos ocasión de resaltar este aspecto al comprobar la profunda transformación que sufre la minería del plomo en una zona española a mediados del siglo XIX por la aplicación de nuevas técnicas a un sistema de explotación, no modificado, de forma significativa, durante siglos (2).

Por su naturaleza, ha sido aún más decisivo el efecto del factor tecnológico en la evolución histórica de la siderurgia. En una aproximación al estudio de este sector a partir de sus fuentes estadísticas básicas con el propósito limitado de consignar el movimiento de la producción desde 1861 hasta 1973, llegamos a la conclusión de que sólo podían señalarse dos "saltos" cualitativamente importantes a lo largo de los 112 años acotados. Estos dos momentos coinciden con la adopción del sistema Bessemer para la obtención de acero en 1885 en Vizcaya y con la entrada en funcionamiento de la factoría asturiana de Avilés en 1958. Ambos hechos señalan el paso de una siderurgia tardíamente despegada, con una actividad que pronto recorta su expansión alcanzando, incluso, niveles de estancamiento, a una etapa plenamente industrial que renueva las obsoletas instalaciones y fija amplios objetivos de producción creciente y diversificada, que darán sus frutos en los años sesenta de nuestro siglo (3). En definitiva esta investigación venía a confirmar el juicio expresado por Pierre Vilar de que el progreso técnico, si bien no es la "condición suficiente", sí es la "necesaria" para cualquier avance histórico (4).

(1) NADAL en "El fracaso de la Revolución industrial en España. 1814-1913", Barcelona, 1975, aportó en este importante trabajo numerosos datos sobre las técnicas industriales y, sobre todo, abrió el camino a posteriores estudios monográficos, siempre deudores de su admirable síntesis. Las realizaciones preindustriales españolas fueron estudiadas por ALCALA-ZAMORA y QUEIPO DE LLANO, J., "Historia de un establecimiento siderúrgico, los altos hornos de Liérganes y La Cavada, 1622-1834", Santander, 1974; y "La fábrica de hierro colado de Corduente, en Molina de Aragón (1642-1672)", *Estudios del Departamento de Historia Moderna*, Zaragoza, 1974, 62-119. Así mismo, los orígenes de la industria ferretera malagueña han sido desvelados por GARCIA MONTORO, C., "Fundación de las ferrerías "La Concepción" y "El Angel" de Marbella", *Anuario de Historia Moderna y Contemporánea*, n.º 4, Granada, 1977, 285-293; y más tarde en un valioso estudio sobre el relevante empresario malagueño, "Manuel Agustín Heredia, 1786-1846", *Instituto de Historia de Andalucía*, Córdoba, 1978.

(2) MUÑOZ DUEÑAS, M. D., "Importancia del factor tecnológico en el crecimiento económico del distrito minero de Linares. 1850-1881", *Actas del I Congreso de Historia de Andalucía. Andalucía Contemporánea (siglos XIX y XX)*, Córdoba, I, 1979 401-430. En el mismo volumen ALVAREZ PANTOJA, M. J., "Los orígenes de la industrialización sevillana. Las primeras máquinas de vapor (1780-1835)", 7-18.

(3) Una profundización en un periodo más corto y poco estudiado, ha sido nuestra aportación al *Coloquio Internacional sobre la II República española*, celebrado en Tarragona del 7 al 10 de abril de 1981: "La producción industrial española en la crisis de los años 30: siderurgia, minería del hierro y extracción de carbones".

(4) "Crecimiento y desarrollo", Barcelona, 1974, 11.

Pero el objeto del presente trabajo es mucho más concreto que lo ya expuesto y obedece a una cuestión planteada al proceder a la confección de las series de producción siderúrgica. Ya en una primera aproximación a las fuentes estadísticas de carácter oficial, con el propósito de establecer mediante una crítica interna de las mismas su grado de validez, tuvimos la sospecha, confirmada después, que la propia actividad siderúrgica, por su naturaleza, era la causa principal de las dificultades que presentaban las cifras para su racionalización estadística (5).

Era obvio pues, que todo intento de comprensión de las causas de la heterogeneidad y hasta de la confusión que en determinados años presentan las estadísticas siderúrgicas, necesitaba de un conocimiento previo de la naturaleza de los productos de la metalurgia del hierro. La aparición histórica de los mismos (hierro laborado, forjado, fundido, pudelado, acero soldado etc.) fruto de sucesivos y más perfeccionados sistemas metalúrgicos y mecánicos, planteaba problemas de clasificación desde finales del siglo XVIII a los contemporáneos, por la coexistencia de métodos arcaicos con los más innovadores y por la variada forma de nombrarlos atendiendo a sus múltiples características y utilización industrial. Esta indeterminación afecta a las fuentes y es una de las claves para entender las dificultades de formalización estadística al sintetizar los datos provinciales.

Nuestro propósito al redactar las páginas que siguen sólo ha sido contribuir, en alguna medida, a una lectura más comprensiva de las series españolas de producción siderúrgica.

I. CLASIFICACION DE LOS PRODUCTOS SIDERURGICOS

Se establece haciendo una doble distinción atendiendo al grado de carburación y a su destino industrial.

I.1. Según su composición química

El hierro obtenido industrialmente, es decir el resultado del tratamiento metalúrgico del mineral de hierro, no es nunca un producto puro. Químicamente es una aleación entre cuyas sustancias el carbono es la más determinante. Las proporciones de carbono pueden variar desde un 0,03 % hasta un 5,00%, y las pequeñísimas variaciones diferencian por sus propiedades físicas a los hierros de forma más clara que muchos cuerpos de naturaleza química diferente. Por tanto son determinantes estas proporciones de carbono para conseguir los hierros que respondan a las necesidades industriales: si bien la presencia de otras sustancias y la adición de elementos nuevos dé al hierro infinitas posibilidades (6). De acuerdo con su proporción de carbono los productos siderúrgicos, en esto hay una aceptación universal, se dividen en: *hierro dulce* de 0,03% de carbono hasta 0,25%, *acero* de 0,50% a 1,50% y *fundición, hierro colado o arrabio* de 2% a 5% de carbono (7).

(5) Las principales fuentes consultadas han sido: "Estadística Minera y Metalúrgica de España", "Estadística Industrial" (desde 1958) y "Anuarios Estadísticos de España". Nuestras conclusiones se resumen en la comunicación entregada a la Comisión encargada de organizar las jornadas de homenaje a Tuñón de Lara (Santander, agosto de 1981): "La producción siderúrgica española, 1861-1973. Contribución a la crítica de las series estadísticas básicas".

(6) Los avances en el campo de las ferroaleaciones y de la química han permitido la fabricación de aceros al aluminio y al níquel, (hallazgo muy importante), o la adición de plomo para una mayor ductilidad.

(7) En los porcentajes de carbono tomamos el 0,03% que da OSAN Bernard, "Fundición del hierro y del acero", (versión de la quinta ed. alemana por CAMPALNS, Rafael), Barcelona, 1926, 1; y para el acero un máximo de 1,50% como da RODRIGUEZ ALONSO, "Tratado de la Siderurgia", Cádiz, 1902 (primera ed. 1884).

1.2. Según su utilización industrial

De acuerdo con el grado de carburación, a los hierros le corresponden determinadas propiedades físicas: maleabilidad –hierro dulce–, endurecimiento –acero– y fusibilidad –arrabio–. Pero los límites no son precisos y así acercándonos al 0% de carbono los hierros son extradulces y al 5% muy fusibles. Entre los dos extremos caben muchas variaciones (8) y diferentes utilizaciones industriales. A su vez cada producto es el resultado de un procedimiento tecnológico que lo determina e incluso es identificado por el proceso que lo originó, el *acero Bessemer* por ejemplo. Desde su finalidad industrial se pueden clasificar en dos grandes apartados (9):

1.2.1. Fundición, hierro colado, hierro fundido o arrabio (10)

Es el producto obtenido del horno alto en estado líquido y altamente carburado. Es muy fusible y no admite forja, representa la materia prima para posteriores fusiones en la acería o en los talleres de moldeo. Este producto recibe distintos nombres que responden a diferentes aspectos:

–por su color se le llama *fundición blanca, gris y mezclada*.

–por el combustible empleado en su obtención: al *carbón vegetal y al cok*.

–por el destino y procedimiento de afino: de *moldeo, pudelado, Bessemer, Thomas, ferromanganeso, ferrosilicio*, etc.

1.2.2. Hierros maleables

Se encuentran dentro de los límites de 0,3% y 2,0% de carbono y sus propiedades de forjarse y fundirse son inversamente proporcionales a estos porcentajes. A este grupo de hierros pertenece, por tanto, lo que se entiende por *hierro dulce y acero*. Pero al mismo tiempo pueden subdividirse en:

–los obtenidos en estado sólido (11) llamados *hierros moldeados*, cuando poseen esta cualidad en grado elevado que disminuye con el aumento de carbono y *aceros soldados* cuando estos productos toman temple, lo que presupone un hierro algo más carburado, puesto que el hierro dulce difícilmente toma el temple (12). También se les llama *hierros batidos* por la forma en que se obtienen o *hierros forjados* para resaltar su paso por la forja o martinete.

–los obtenidos en estado líquido son los *hierros de fusión u homogéneos* (13), que si no se endure-

(8) “Desde el hierro más puro hasta la fundición más carburada, existe una serie ininterrumpida de variedades que ha sido preciso designar añadiendo ciertos calificativos a los nombres de los tipos que hemos dado a conocer. Así es que se llama: *acero duro* al que contiene una gran dosis de carbono, *acero suave* al que tiene poco, *extradulce o extrasuave* al que tiene menos aún”. En “Tratado...” 7.

(9) Seguimos el esquema de OSANN pero el contenido de la clasificación se ha completado con bibliografía más actualizada.

(10) “El idioma alemán posee una voz *Roheisen*, para designar específicamente el hierro colado bruto, *arrabio* o fundición de primera fusión, existiendo la palabra *GUSSEISEN* para designar la de segunda fusión. Las expresiones inglesas *pig iron* y *cast iron* corresponden respectivamente a los mismos significados. “Fundición...” 1, n.º 1.

(11) Corresponde a las siguientes voces: *Scheisseisen, fer soudé weld iron*, *ibid.* n.º 2.

(12) Esta característica es fundamental para distinguir el hierro menos carburado del acero. El efecto del temple no se nota sino a partir de un 5,0% de carbono. Cfr. “Tratado...” 6.

(13) En otros idiomas: *Flusseisen, fer fondu, ingot iron*, en “Fundición...” 1, n.º 3.

cen sensiblemente por la acción del temple, son los hierros dulces obtenidos por la descarburación de la fundición o arrabio, y si toman el temple se les llama *aceros de fusión* como resultado de un mayor afino del producto (14).

De todo esto se desprende que la confusión se origina cuando se designa a un mismo producto desde diferentes planos: su grado de carbono, su comportamiento físico, el tratamiento mecánico y recibe incluso la forma que adopte (lingote de hierro) etc. La necesidad de hallar una nomenclatura internacional se refleja en la reunión de metalurgistas en Filadelfia en 1876, cuya comisión adopta oficialmente una clasificación que unifique las diferentes voces nacionales que designan a los productos siderúrgicos (15). Pero en realidad no puede resolver el problema porque cada definición se ha hecho en función de los elementos que le dan entidad al producto, características que se refieren al modo de obtención, propiedades físicas y negación de otras en una necesidad de distinción por la imprecisión de las fronteras que separan a los diferentes hierros.

II. PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL HIERRO

En la anterior clasificación ya se evidencia que la identidad de los productos es inseparable del procedimiento que los ha hecho posible. Por tanto, es indispensable un resumen de la evolución de la metalurgia del hierro, sobre todo, a partir de lo que se considera como siderurgia moderna (16). Si partimos del hecho de que la producción cuantitativamente importante de arrabio y su conversión en acero se produce dentro de la Revolución Industrial se puede hacer la siguiente división:

II.1. *Métodos de la siderurgia preindustrial*

Los procedimientos metalúrgicos han ido evolucionando a partir de dos conclusiones a que se llegó de un modo empírico respecto a los metales duros: que calentándolos eran susceptibles de forjarse y que elevando el grado térmico se pasaba a un estado líquido que permitía el moldeo. Históricamente se han producido en este orden.

El horno de hogar bajo o forja, conseguía en una sola operación separar el metal del mineral de hierro en una excavación del terreno recubierta de arcilla refractaria, utilizando como combustible el carbón vegetal y cuyo producto final era una masa pastosa a la que se limpiaba de escorias mediante un martillo. Hasta fines de la edad media el sistema perduraba con escasas variaciones. Con seguridad se sabe que dos siglos antes de nuestra Era se había comprobado que las piezas de hierro nuevamente calentadas —el recocido— se endurecían. Así mismo se conoce que la carburación, la

(14) Ibid. I. n.º 4: "El hecho de que prolongado más o menos el proceso de afino de la fundición, se obtenga del horno *Martin Siemens* aceros o bien hierros dulces, ha originado que en el lenguaje vulgar, tanto en español como en francés e inglés, se designen a menudo con el nombre de *aceros*, hierros que no pueden templarse. En alemán existe una anfibología análoga, pues las voces *Scheisseisen* y *Flusseisen* se aplican indistintamente tanto a los hierros que no toman temple como a los que pueden templarse; por el contrario la palabra *Stahl* se aplica exclusivamente a los aceros propiamente dichos, es decir, a los que no pueden recibir temple".

(15) Esta Comisión distingue cuatro tipos de hierros: *hierros soldados*, equivalente al *fer soudé*, etc.; *aceros soldados* al *acier soudé*, etc.; el *hierro fundido* al *fer fondu* etc. y el acero *fundido* equivalente al *acier fondu*, etc. Cfr. "Tratado..." pág. 8.

(16) OSSANN, hace una subdivisión para la obtención del hierro: con el *horno alto* y con la *forja catalana*, sin embargo hemos considerado que desde el punto de vista histórico había que resumir la evolución del *horno bajo*. Sobre la siderurgia preindustrial, nos ha sido de mucha utilidad la ponencia de SOBRINO VICENTE, José Luis, "Los metales", en *Jornadas minero-metalúrgicas. IV Nacionales, II Internacionales Cartagena*. (Actas editadas por A.N.I.M.), Madrid, 1972, I, 537-620.

soldadura autógena y el temple se practicaban “Este método ha subsistido en no pocos países hasta el siglo XIX, a despecho de las pérdidas físicas de metal que eran grandes, de que exigiera minerales ricos muy puros y de que el rendimiento por hornada resultase muy bajo” (17). El metal así obtenido era de gran pureza; porque la gacha de la escoria absorbía las impurezas que no pasaban al metal, hecho que sí ocurrirá más tarde con el horno de cuba.

Consecuentemente, la evolución del horno de hogar bajo se hace en función de corregir estos impedimentos aunque de manera muy lenta, como corresponde a una etapa de escasa demanda de hierros. Más tarde, el crecimiento del producto bruto del horno de hogar bajo, la “loba” o “zamarra” como se denominaba al metal pastoso dificulta el trabajo destinado a dar homogeneidad y limpieza al hierro. La necesidad de la mecanización se materializa en la máquina de forjar que aparece en el período de expansión de la energía hidráulica a fines del siglo XII (18).

Este procedimiento tiene dos modalidades en España:

—Las “*ferrerías o ferrerías*”. Parece que todos los historiadores de la siderurgia están de acuerdo en afirmar que en el siglo V ya se explotan de una manera racional los yacimientos de hierro en Vizcaya por este procedimiento. Las de montaña o “menores” aprovechan la energía del viento y daban un primer producto a las fraguas de río llamadas “mayores” cuyos martinets se movían por la fuerza hidráulica del río. Las herramientas de la forja tenían como materia prima la madera y el hierro y el combustible empleado para la reducción del mineral era el carbón vegetal. En lo esencial y con escasas variaciones perdurarán en menor número, pero resistiendo, hasta entrado el presente siglo (19).

—Las “*fargas*” o *forjas catalanas*. La mayor capacidad del hogar catalán y sus especiales características, hace que la expansión de la metalurgia del hierro por Europa (coincidiendo con generalización de la energía hidráulica por el continente) difunda este sistema que queda tipificado como *método directo* (20) frente al *indirecto* horno alto —arrabio— acero, para la obtención del hierro metálico. La *forja catalana*, que en el siglo XV contaba con unas 150 unidades, se utiliza durante el XVII en el Norte de Europa como instrumento de afino para la descarburación de la fundición dadas las enormes reservas de combustible vegetal, mientras que en los países del Sur por la escasez de éste, se utiliza como método directo. En España en 1885 (21) se obtiene 1.901 Tm. de *hierro dulce de afino* obtenido por “procedimientos directos”, de una totalidad de 60 forjas y en 1915 aún quedan 36 de estas unidades que hemos llamado preindustriales.

II.2. *Procedimientos siderúrgicos industriales*

“La frontera entre la siderurgia antigua y la siderurgia moderna, representadas la primera por el

(17) “Los Metales”. 546.

(18) *Ibid.*

(19) Dado el elevado consumo de combustible por hornada, la amenaza de agotamiento de las reservas vegetales, pesaba ya en los siglos pasados, por lo que gravaba la madera elevando el coste del producto y haciendo problemático el futuro para el pequeño establecimiento.

(20) Así está expresado en los tratados de metalurgia. Acerca de la universalidad de la *forja catalana*, dice SOBRINO que unidades de este tipo “se montaron y estuvieron en servicio por espacio de muchos años en ríos tan importantes como el Mississippi y el Orinoco. En Finlandia se enseña un *Fagervik*, adviértase la similitud entre esta voz finlandesa y la correspondiente palabra catalana, que lo mismo por su estructura y equipo se asemeja en todo a nuestras *ferrerías y fargas*”, “*Los Metales*”, p. 560.

(21) E.M.M.E. 1885 y 1915.

método directo y la segunda por el indirecto se hallaba perfectamente delimitada al concluir el siglo XVIII” (22). El método indirecto tiene su origen en la técnica del *horno alto*.

II.2.1. *El horno alto. El arrabio.*

“Si consideramos la cuba del horno alto como un cambiador de calor entre los gases ascendentes y la columna de materiales descendentes es evidente que el primer objetivo a cumplir debe ser el conseguir la mayor superficie de contacto gas-sólido” (23). En ese contacto combustible-mineral-fundente que se desea efectivo y a las líneas de descanso de los materiales fundidos, está determinada la evolución, estructura y perfil del horno alto, así como el perfeccionamiento de todos los elementos que posibilitan su funcionamiento.

Hasta comienzos del siglo XVIII en que ya se puede hablar de horno alto respecto a los hornos de cuba cuya altura es menor de 8 metros (24), la evolución del mismo es lenta desde que, debido a una marcha defectuosa del horno, se obtuviera por vez primera arrabio (25). Movidos por la necesidad de superar las costosas servidumbres del método tradicional se procedió a elevar la cuba y a perfeccionar los soplantes, “ello se tradujo en una elevación sensible de la temperatura, que al favorecer la disolución del carbono por el hierro, así como la de ciertas impurezas contenidas en los minerales acarreo a modo de efecto secundario un descenso también importante del punto de fusión” (26). De esta forma modificados los elementos del proceso, conducción forzada del aire por las toberas y mayor contacto mineral-combustible, se ha originado un nuevo proceso, el horno alto, cuyo resultado es un hierro carburado en forma de fundición que se llama arrabio.

Las dificultades que presenta el arrabio para ser descarburado es la causa de su limitada utilización hasta el siglo XVIII impidiéndole competir con los hierros tradicionales (27). En este siglo y dentro del salto cualitativo que tecnológicamente tiene lugar en Inglaterra, la industria toma un impulso decisivo al incorporar el carbón mineral al proceso del horno alto como combustible. Abraham Darby en 1735, después de diversas tentativas (28), inicia el camino hacia un máximo aprovechamiento de la hulla, permitiendo por la vía coque-horno alto acero, la producción masiva de productos siderúrgicos.

El destino de la fundición es su conversión en acero, pero dado que el nuevo combustible tiene un excesivo volumen y coste por tonelada, hace que la industria siderúrgica para su mayor renta-

(22) “Los Metales”, 568.

(23) ROBLEDO GALGUERA, Raimundo, “Evolución de la fabricación del hierro. Pasado, presente y futuro del horno alto” en *Jornadas...*, II, 94-120, 98.

(24) Vid. “Los Metales”, 568. En 1700 un horno produce diez veces más que un siglo antes.

(25) Los metalurgistas están de acuerdo en que fue de una manera empírica y accidental como se obtuvo arrabio de un horno elevado. SOBRIÑO recoge esta creencia general: “Y así surgió un poco por arte de ensalmo y otro poco por obra, otra vez más, del azar, el producto que hoy se designa indistintamente con los nombres de fundición, hierro fundido y arrabio”, 546; y en la 566: “Es obvio que el hierro fundido... se obtuvo por casualidad y el resultado se atribuyó tal vez a una mala racha del proceso”.

(26) *Ibid.* 546.

(27) En una primera etapa el horno alto tiene una producción alternativa de metal bruto sólido y líquido, *esponja y arrabio*, llamado STUKOFEN, y más tarde se pasa al horno que sólo fabrica hierro líquido, FLUSSONFEN y que es el progenitor del horno alto actual. “Evolución de la fabricación del hierro...”, 96.

(28) El intento de Dudley en 1766 para sustituir el carbón vegetal por la hulla fracasó por la alta fusibilidad del combustible. El siguiente paso lo dio Becker en 1683, carbonizando previamente la hulla y más tarde, Darby hace viable esta sustitución. En realidad el fundamento era bien simple “se trataba de carbonizar la hulla como se carboniza la madera”.

bilidad nazca localizada junto a los yacimientos de carbón, aunque en España el modelo se realizará a la inversa en el caso de la siderurgia vasca, tras una primera etapa, que teóricamente obedecía a un planteamiento correcto de ubicación en Asturias (29).

A mediados del XIX, se perfeccionan los medios auxiliares de horno alto: avances térmicos —utilización del aire precalentado, obtenido más tarde en un proceso regenerativo— (30), mejoras en el transporte y en la preparación de minerales. A partir de 1850 las conquistas tecnológicas son espectaculares y al finalizar el siglo el horno ha adquirido el perfil que conocemos. En los últimos veinte años se ha pasado de una etapa de consolidación de lo adquirido a otra que intenta racionalizar al máximo el proceso de producción por medio de alta tecnología en todas sus fases:

—*máximo aprovechamiento de las materias primas*: tratamiento previo y “peletización” del mineral, fundentes de mayor pureza y uniformidad en el coque (31).

—*correcta preparación de la carga*, para el deseado perfecto contacto mineral-gas, que se consigne con un bajo volumen de escorias, elevada temperatura del viento soplado y últimamente por la parcial sustitución del coque por la inyección de combustibles auxiliares por toberas (32).

—*automatización en todos los procesos* que comprende. Por ello se plantea la reducción de todos los elementos de este enorme conjunto a modelos matemáticos que uniformen las diversas operaciones, susceptibles de ser analizadas por un ordenador (33).

II.2.2. La acería

Esta unidad de producción de acero, tecnológicamente estructurada según los diferentes métodos de afino del arrabio, generalmente ubicada junto al horno alto y con un elevado nivel de mecanización en todos sus elementos auxiliares, es una realidad en la etapa de plena industrialización de finales del XIX, cuando la demanda de productos siderúrgicos es cuantitativa y cualitativamente importante, y las inversiones tecnológicas posibles por la rentabilidad asegurada del sector.

La gran acería, protagonista del gran desarrollo industrial en los países que despuntaron en el crecimiento económico, es por tanto un hecho reciente. Si partimos del XVIII se puede hacer una división un tanto simplificada, pero creemos que útil, del período que se inaugura con la revolución de los métodos de afino en Inglaterra hasta nuestros días. A su vez, desde que los métodos Bessemer, Martín y Thomas permiten de 1860 a 1880 obtener aceros de mayor pureza, valorizar minerales que no podían tratarse con anterioridad y aumentar de forma considerable la producción, parece claro que comienza una nueva etapa siderúrgica en donde la acería es la pieza clave.

(29) “En general la localización de la industria siderúrgica tendía a hacerse en las zonas productoras de carbón coquizable, puesto que el consumo de carbón era mucho más voluminoso que el del mineral de hierro... Por ello, Asturias hubiera sido el lugar idóneo para localizar nuestra siderurgia. Pero en la práctica se operó de distinto modo”, TAMAMES, Ramón, “Estructura...”, p. 173.

(30) En 1828 Neilson introdujo el viento caliente en el horno, en 1832 Faber du Faur patenta una estufa regenerativa para calentar el viento con el propio gas del horno, y un verdadero hito en la terminología fue el invento de Cowper, estufas para calentar el viento que aún tienen vigencia desde 1857.

(31) Cfr. ROBLEDO GALGUERA, R, “Evolución...”.

(32) “Pellets” es el mineral preparado atendiendo a su análisis químico, granulométrico, grado de reductibilidad, degradación, hinchamiento, resistencia, etc., para su óptima utilización en el horno alto. Ibid., 103-105.

(33) Ibid., 106-109.

Las estadísticas empiezan en 1861 pero es bien conocido que los métodos que, en general, se utilizan en España están profundamente desfasados. Por tanto hay que remontarse a los métodos de afino anteriores a esta fecha para situar el nivel tecnológico de la siderurgia española.

II.2.2.1. *Primeros métodos industriales de afino, 1840-1880*

Hasta el siglo XVIII la producción de arrabio se destinaba casi en su totalidad al modelo y sólo una mínima parte se convertía en acero proporción que se invertirá bien entrado el XX (34). Según el porcentaje de carbono del producto a refinar existían dos procesos de signo inverso: si se partía de un hierro muy descarburado la *cementación* carburaba este hierro dulce y se obtenía *acero cementado* o bien se descarbura la fundición obteniéndose acero "*de forja*"; existía además la obtención directa de las forjas tradicionales que daban el acero llamado *natural* (35). Estaba muy claro, hasta el XVIII que el *hierro dulce* no tomaba el temple, que el acero obtenido era forjable y se podía temprar y todo ello de acuerdo con los modos de obtención ya descritos.

"Pero desde que tratando la fundición por medio de ciertos procedimientos han llegado a obtenerse masas considerables de hierros y aceros en *estado líquido* se suele dar a todos estos productos el nombre genérico de acero, cualquiera que sea su dosis de carbono y las modificaciones que experimenten por el temple reservando exclusivamente el nombre de hierro al producto poco carburado obtenido en estado sólido" (36). Es evidente que la obtención masiva de *aceros*, en estado líquido a partir de 1846, es el resultado de una revolución en los métodos de afino y que la palabra *acero*, desde ahora, expresa una realidad tecnológica diferente a la de siglos pasados; pero el dualismo siderúrgico persistirá durante mucho tiempo.

La descarbonación del arrabio, operación denominada *afinose* hace en esta primera etapa industrial mediante dos procedimientos:

—*el horno de pudelar*. Sustituye al horno bajo de afino que era escasamente rentable y fue ideado por Onions y Cort en 1784. Las características que lo hacen nuevo son: consumir hulla en vez de carbón vegetal, trabajar fuera del contacto del aire para evitar la oxidación y aumentar considerablemente la producción. El proceso comportaba sucesivas operaciones que lo hacían complejo, necesitando para su completa descarbonación de un intenso trabajo manual (37). Lo que se consigue es llevar a la forja un producto más homogéneo, *acero pudelado*, y prolongando la descarbonación, *hierro dulce*, llamados también por la forma de obtenerse *hierros batidos o soldados* (38).

—*aceros de crisol*. La cementación sólo carburaba el hierro superficialmente y puesto que se sabía por la experiencia que el grado de fusión del arrabio era mayor que el del acero y éste que el del hierro dulce, que prácticamente no es fusible, se pensó en conseguir un acero de calidad homogénea fundiendo en el crisol distintos hierros cementados con diferente índice de carburación (39).

(34) En 1920 la proporción es al 50% y en 1972 la parte destinada a molderería es el 4,58% del arrabio total.

(35) Así aparece en los primeros años de la E.M.M.E. En 1861, en las notas que acompañan el *Cuadro n.º 2 de Beneficio*, se dice respecto a Guipúzcoa: "El acero es natural y se ha obtenido en cinco ferrierías".

(36) RODRIGUEZ ALONSO, "Tratado...", 7.

(37) Para la completa descarbonación de la gacha, los obreros no dejan de remover esta masa, llegando a adquirir tanto volumen que de cada una se obtienen hasta cinco porciones de 30 a 40 kilos de peso cada una, "Los Metales", 571-573.

(38) Vid. OSANN, "Fundición..." y la correlación entre su esquema y la clasificación de la Comisión de Filadelfia.

(39) SOBRINO, "Los Metales", 572-574.

Con estos dos procedimientos se consigue, pues, pasar directamente de la fundición al acero y al hierro dulce; y el crisol aliado con la cementación condujo a la fábrica de aceros al carbono (40). Los imperfectos métodos de afino seculares quedaron desfasados ante la capacidad productora de las nuevas técnicas, pero la dinámica de la revolución industrial imprime un ritmo tal a la siderurgia que cuando de 1860 a 1880 el "pudelage" se perfecciona por el aprovechamiento de los gases y la mecanización del duro trabajo manual se logra por medio del *horno rotatorio Siemens*, del *horno de solera giratoria Pernot*, del *horno oscilante Campbell*, etc., aparece el acero Bessemer, que sustituye con ventaja al pudelado, sorprendiendo a las fábricas que no pueden amortizar en tan poco tiempo las inversiones recientes. En España el sistema del pudelado tiene una vigencia demasiado prolongada, en detrimento de los aceros cuya fabricación era ya generalizada en otros países.

II.2.2.2. Los decisivos métodos industriales de afino: Bessemer, Martín-Siemens y Thomas.

Su implantación eleva notablemente el nivel tecnológico de la siderurgia y es fruto, a su vez, de los avances de la ciencia en general y de la concentración empresarial y financiera que puede afrontar la continua depreciación de los equipos, en unos países cuyo liderazgo industrial les permite satisfacer la continua demanda de los países más atrasados. La aceleración siderúrgica permite a Inglaterra en los veinte años que siguen a 1880 cuadruplicar su producción de arrabio, que los nuevos métodos convertirán masivamente en acero.

Para la terminología de la época estos procesos dan *aceros de fusión* o *hierros y aceros de fusión u homogéneos* atendiendo al estado físico de su obtención y a su estructura. Durante algún tiempo, *hierros y aceros* estará referido al hierro dulce y al acero, pero cuando los nuevos aceros constituyan prácticamente la totalidad de la producción en las estadísticas aparecerá con el nombre de cada sistema, así *acero Bessemer*. Estos métodos ofrecían la ventaja de que al operar a temperaturas muy elevadas proporcionaban aceros muy fluidos de los que podían separarse, por simple diferencia de densidad, las escorias que se formaban a expensas de las impurezas (41). Cada sistema era la respuesta tecnológica al reto planteado por cada tipo de mineral:

—*Convertidores*. El "Convertidor" es un recipiente móvil que somete el arrabio vertido sobre él por una cuchara a la acción de un intenso soplado, (puede ser una corriente de aire generada por compresores, o bien, con aire enriquecido con oxígeno) que quema los metaloides y purifica el arrabio (42). Hay dos variantes: el procedimiento *Bessemer* propiamente dicho no apto para fundiciones fosforosas y el *básico* o *Thomas* que en 1878, con un revestimiento básico del convertidor, posibilita la explotación de yacimientos antes poco rentables.

—*Hornos Martín-Siemens*. En 1863 Martín consigue los mismos resultados que Bessemer utilizando un horno de reverbero, procedimiento que aliado a las patentes Siemens sobre mejoras del rendimiento calorífico de los combustibles, revaloriza los minerales fosfóricos. En este sistema la descarbonación y purificación del lingote de hierro y de la adición de chatarra tiene lugar en un horno reverbero (Martín), en cuyo interior la corriente de aire se quema con el gas, fundiendo la carga y recuperándose los gases en unas cámaras que junto al gasógeno (aportaciones importantes

(40) Ibid.

(41) Ibid. 571.

(42) Cfr. TOUSSAINT, Fritz, "El acero", (traducido del alemán por BARROCA, J. M.), Düsseldorf, 1960.

de los hermanos Siemens a los rendimientos caloríficos) (43), constituyen procesos inversos de entrada y salida del horno.

—*Hornos eléctricos*. Recipiente refractario atravesado en su tapa por electrodos de carbono. Se comienza a fabricar a finales del XIX siendo su materia prima la chatarra que se transforma en acero de excelente calidad.

III. TRANSFORMACION DEL ACERO BRUTO EN PRODUCTOS LAMINADOS

Las operaciones mecánicas de forja y laminación experimentaron también en el XIX notables avances, llegando a tener los martillos hasta una potencia de 100 tm. Sin embargo la prensa hidráulica vino a posibilitar una mayor variedad de formas en los hierros industriales, así como su capacidad de producción se vio aumentada de forma paralela a su fuerza que en la actualidad puede alcanzar las 20.000 tm. Los trenes continuos de laminación se experimentaron en Teplitz por vez primera en 1890, llegando en un constante perfeccionamiento a todos los países a principios de este siglo (44).

Los pasos de una *colada clásica* hasta su conversión en laminados serían los siguientes: fabricado el acero, se sangra el molde o lingotera. Una vez solidificados el líquido, se convierte en lingote, primera forma sólida del acero. Efectuada la operación de deslingotado, pasa a la planta de laminación, en donde previamente recalentado el acero, que por su maleabilidad es susceptible de reducirse o estirarse, da lugar por la acción del *tren desbastador* a desbastes o “bloms” y a planchones o “slabs”. Los primeros pasan al *tren estructural* de donde salen: vigas, ángulos, carriles, etc. Los segundos pasan a un eje paralelo, el *tren de chapa gruesa*, utilizada en construcciones navales y de calderería pesada (45).

IV. LOS CAMBIOS ESTRUCTURALES DE LOS ULTIMOS VEINTICINCO AÑOS

La siderurgia es una actividad “que por diversas razones sólo pueden realizar económicamente las empresas que tienen una considerable dimensión horizontal y están integradas verticalmente” (46). Ante la fuerte competencia internacional, las empresas tienden a fusionarse para con una mayor capacidad financiera afrontar la lucha por la reducción del precio de coste del producto. Esto supone modificar estructuralmente las plantas siderúrgicas. Los principales cambios son:

—*utilización de nuevos combustibles*. La escasez y encarecimiento de las materias primas ha obligado a una continua búsqueda de sustitutivos para hulla. La investigación sobre fuentes de energía más rentables ha originado el uso en diferentes países de petróleo, gases procedentes de los hornos de coque, oxígeno, etc. ., con una disminución sensible del tiempo de reducción y mejores calida-

(43) Los hermanos Siemens, habían patentado en 1865 un dispositivo por el que “los humos que salían de los hornos, atravesaban alternativamente en su recorrido hacia la chimenea, una de las dos cámaras en donde se verificaba el intercambio de calor, mientras por la otra, accedía al hogar en sentido contrario”. Este se completa, en 1861, con un gasógeno para hullas grasas de parrilla inclinada. “Los Metales”, p. 575.

(44) “Los Metales”, 577-578.

(45) *Altos Hornos de Vizcaya, S.A.*, “Fábrica de Sagunto”. En este reducido folleto, editado por la propia empresa para informar de sus instalaciones, se hace una síntesis precisa de esta última fase del proceso productivo.

(46) TAMAMES, Ramón, “Estructura...”, p. 172.

des. Pero al mismo tiempo los adelantos en las técnicas de destilación "autorizan a suponer, que a la vuelta de unos años, resulte coquizable cualquier tipo de hulla" (47).

Destaca por su eficacia el oxígeno, cuya aplicación industrial ha dado lugar al *sistema LD*, que pasa a ser el cuarto gran procedimiento para la obtención del acero. Esencialmente consiste en inyectar oxígeno puro con una velocidad elevada al baño de arrabio y chatarra que está en un convertidor, obteniéndose una colada de acero de excelente calidad en un tiempo de 35 a 45 minutos.

—*racionalización del proceso de producción*. Por medio de la "Colada Continua". Su origen está en un proyecto de Bessemer en 1891, donde se ponían las bases para su aplicación al acero; hecho que no ocurrió hasta 1945-1951 en EE.UU y en Alemania y su gran desarrollo en los años 60. La "Colada Continua" aventaja a la "Convencional" en un menor coste de inversión, aumento del rendimiento y menor coste de operación. La palabra "Colada Continua" se emplea para designar un proceso de fabricación de productos semiterminados partiendo de un metal fundido, en cuyo proceso se utiliza un molde que conforma el perímetro del producto, pero no su longitud que alcanza valores no comparables a la longitud del molde" (48). Tecnológicamente ha evolucionado tanto que de cucharas de 2 Tm. a 5 Tm. con producciones máximas de 26.000 t/año en 1950, se ha pasado a cucharas de 250 Tm. y producciones de 1,5 de millones de t/año.

—*el gigantismo de las plantas productivas*. Buscando la capacidad de producción óptima para reducir el coste por tonelada del producto, la carreta hacia la integración y el gigantismo caracteriza la marcha de la siderurgia en estos últimos años. Si en 1955 los hornos altos tienen volúmenes del orden de 1.200 m³, en 1969 se superan los 3.000 m³, y en 1971 se rebasan los 4.000 m³ de volumen útil. La razón de esta aceleración tecnológica está en que si en una planta siderúrgica convencional para alcanzar 7 u 8 millones de Tm. de acero se utilizan 4 hornos de 5.000 t/día, 2 hornos de 10.000 t/día aventajan a los anteriores en menores costes de operación e inversión (49). Por esto la "Nippon Steel", primera empresa mundial en el campo del acero pone en marcha una planta productora de 8 millones de Tm. de acero con 2 hornos altos de 10.000 t/día, 3 convertidores LD y 2.600 hombres con una inversión de 89 dólares/t, mientras que para ENSIDESA esta misma relación es de 310 dólares/t (50).

—*automatización*. El horno alto, unidad que inicia el gigantismo, arrastra a todos los elementos complementarios, con un efecto multiplicador. Como ya dijimos, para conseguir la exactitud y la precisión en todos los procesos, el conjunto de los parámetros pueden ser analizados a través de un ordenador.

La problemática en torno al tamaño adecuado de las plantas, se basa en los siguientes supuestos: para una capacidad de 8 u 10 millones de Tm. de acero la inversión necesaria alcanza incluso los 140.000.000.000 pts, y si el máximo de rentabilidad se logra cuando funcionan todas y cada una de las instalaciones, ¿cómo soportar la baja rentabilidad inicial? La respuesta en muchos países ha sido la creación de miniplantas rentables a base de prerreducidos, pero si se sigue progresando en la

(47) "Los Metales", 581.

(48) DE LA VEGA TEJERINA, José, "Puesta en marcha de una instalación de Colada Continua", en *Jornadas...*, II, 141-155, 141.

(49) ROBLEDO GALGUERA, R. "Evolución...", 110-114.

(50) Datos obtenidos de FERNANDEZ GARCIA J. L.: "Consideraciones sobre algunas cuestiones fundamentales a tener en cuenta para la programación del desarrollo de la siderurgia española", en *Jornadas...*, II, 35-61, 36.

preparación de los minerales de hierro, el horno alto puede quedar reducido a un elemento de fusión y esto lo realiza mejor el "cubilote" y el horno eléctrico (51).

En resumen, las dos tendencias de la siderurgia actual para la elaboración de acero utilizan:

- bien oxígeno para convertir el arrabio en acero
- bien energía eléctrica para fundir un metal sólido, chatarra o mineral prerreducido.

La primera se utiliza en las grandes unidades de producción y la segunda en plantas reducidas que pueden servir también, de complemento a los grandes complejos del sistema indirecto (52). La elección de uno y otro camino está en función de las materias primas disponibles en cada país.

(51) La eficacia y la razón de ser del horno alto, se ha cuestionado desde atrás por encendidos detractores. Entre ellos, DE SIMON SAINT-BOIS, J. M., en "La hora española, (La siderurgia del futuro)", en *Actos Conmemorativos de la creación del Cuerpo de Ingenieros de Minas*, Madrid, 1954, 842, 543-599, o pone, con leves tintes autárquicos, a la vía coque horno alto-arrabio-acero, la reducción directa, sin afinar el acero, utilizando minerales muy puros y como combustibles: lignitos, antracita, etc. Es significativo contrastar sus opiniones con la evolución posterior de la siderurgia española. También sobre este tema, PRADO CALZADO, Julián, se hace eco en "La minería del hierro y el Plan Siderúrgico Nacional", n.º 57, septiembre 1968, p. 37-45. El estado actual de la cuestión está perfectamente planteado por ROBLEDO GALGUERA, R, en "Evolución..." 116-117; y por ASTIER, Jacques en "Tendences de la siderurgia moderne pour l'elaboration d'un metal primaire, fonte o mine-rai pre-re duit", también en *Jornadas...* 405-427.

(52) Hemos reunido en este simple enunciado la documentada y perfecta exposición sobre el tema del trabajo de ASTIER, Jacques, "Tendences de la siderurgia moderne...".