

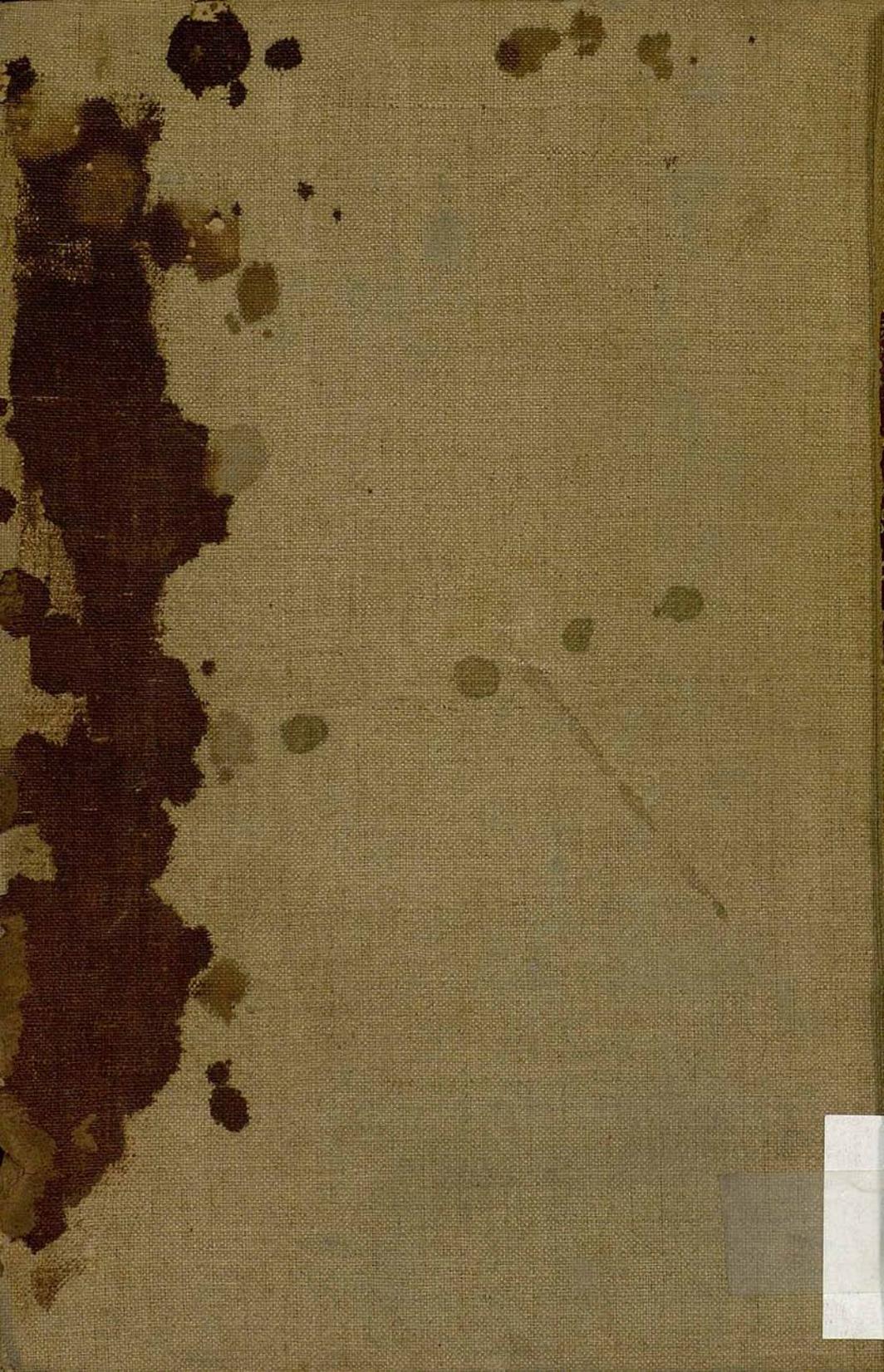


Alonso

SIDERURGIA

F.A.S.

281



SIDERURGIA



TRATADO
DE
SIDERURGIA

POR

P. JOAQUÍN RODRIGUEZ ALONSO

CAPITÁN DE ARTILLERÍA DE LA ARMADA

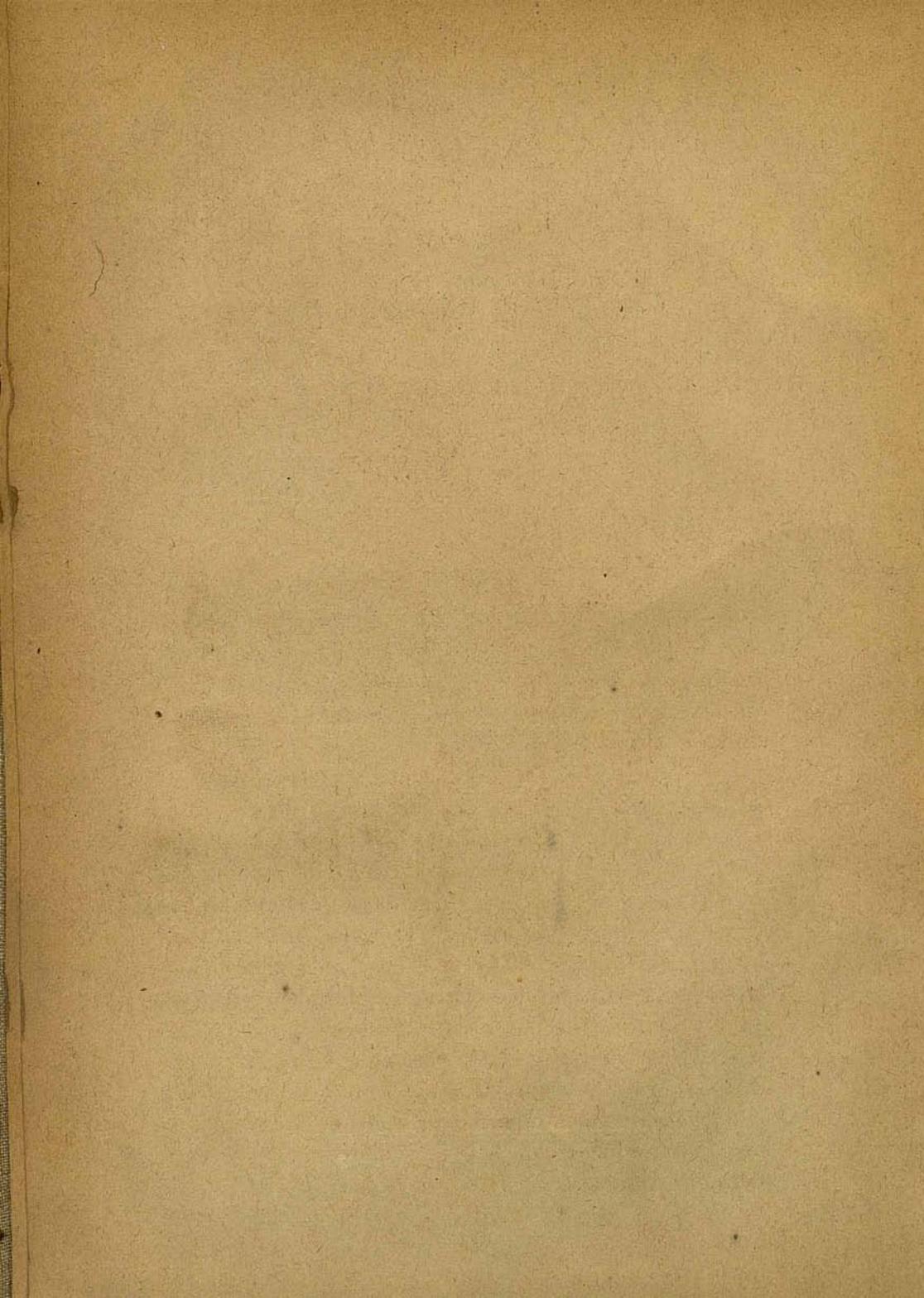
Y PROFESOR DE LA ACADEMIA DEL CUERPO

Obra premiada con Medalla de Plata
en la Exposición Nacional de Minería celebrada en Madrid en 1883.

J. L. V.
BIBLIOTECA
N-73

MADRID
IMPRESA DE LA VIUDA É HIJOS DE ABIENZO
calle de Isabel la Católica, núm. 4

1884



PRÓLOGO

Es indudable, según las investigaciones hechas por varios historiadores, que la SIDERURGIA ó tratamiento del hierro es conocida desde la más remota antigüedad, teniéndose por muy cierto que dicho metal se emplea desde hace más de tres mil años.

Los primitivos métodos de tratamiento eran naturalmente muy imperfectos y sus progresos casi nulos hasta el presente siglo. Tan es así, que las forjas catalanas, que hoy día todavía se conservan, difieren muy poco de las que en el primer siglo del Cristianismo existían en España cerca de la antigua Bilbilis y en los Pirineos. Hasta mediados del siglo XVI no empezó á obtenerse el hierro colado; y el acero, aun cuando se fabricaba desde época muy lejana, puede decirse que hasta el siglo XVIII no se encontró el procedimiento para obtenerlo con seguridad de la especie requerida. En el siglo XVII comenzó á emplearse el carbón mineral por la escasez de leña y á la misma causa fué debida la invención del pudlaje á fines del siglo pasado.

Tan lentos como fueron los adelantos de la Metalurgia del hierro, cuando ésta estaba fundada únicamente en el empirismo y la rutina, tan rápidos son en la época presente, gracias á los progresos realizados en las ciencias físico-químicas, que han permitido, conocidas las reacciones que se verifican en los procedimientos puestos en práctica para el beneficio de las menas de hierro, no sólo mejorar los empleados hasta el día, sino también deducir de la teoría otros nuevos más ventajosos.

No es posible calcular dónde se detendrá la vertiginosa carrera que lleva en la actualidad la SIDERURGIA. El hierro se va reemplazando en la mayor parte de sus aplicaciones por el acero, que hasta hace poco tiempo era considerado poco menos que como un metal precioso, y que hoy día, merced á los procedimientos de Martín Siemens, y sobre todo al de Bessemer, se obtiene á poco más precio que el hierro colado. El último procedimiento citado, que hasta hace muy pocos años no era aplicable más que al afino de fundiciones muy puras, para cuya obtención la mayor parte de los Establecimientos europeos tenían que surtirse principalmente de nuestras ricas menas vizcainas, ha sufrido una modificación importante, con la cual puede aplicarse al beneficio de menas fosforosas. Esta modificación había sido indicada por Monsieur Grüner, para eliminar el fósforo que no puede hacerse desaparecer en el convertidor ordinario de Bessemer, antes de que los Sres. Thomas y Gilchrist hicieran sus ensayos con el convertidor básico.

El pudlaje, á pesar de las continuas mejoras que ha sufrido desde su invención, está indudablemente llamado á desaparecer, conservándose, si acaso, algunos métodos mecánicos como auxiliares del procedimiento Martín. La causa principal de que todavía exista este método de

afino, es que los nuevos adelantos han sorprendido á las fábricas con un costoso material que no les es posible amortizar en poco tiempo.

En tal estado de cosas, aun las obras más modernas, que tratan de metalurgia en general, y en particular de **SIDERURGIA**, se encuentran atrasadas en muchos puntos, porque los estudios y descubrimientos más recientes se hallan diseminados en varias publicaciones y revistas, de donde es preciso entresacarlos y clasificarlos para formar un cuerpo de doctrina. Es, pues, urgente la necesidad de una obra, y muy especialmente de una obra de texto, que con más ó menos extensión abarque cuanto á **SIDERURGIA** se refiere.

Nunca me hubiera atrevido á acometer la empresa de escribir una obra de texto de Metalurgia del hierro, si para ello no se me hubiera presentado la favorable circunstancia de tener que desempeñar una comisión en el Creusot, establecimiento que forma á la cabeza de los de su clase, y donde, por lo tanto, se está siempre al corriente de todos los adelantos. En estas condiciones, las dificultades que se me presentaban eran menores, y á vencerlas me animó desde luego el Sr. Brigadier del Cuerpo, D. José González Hontoria, autor de las piezas de Artillería, cuya fabricación iba á inspeccionar en dicha fábrica. Puse, pues, manos á la obra, que bién ó mal habría terminado ya hace tiempo, si á fines del año 1881 no me hubiese visto precisado á abandonar el Creusot y volver á hacerme cargo del Profesorado de la Academia, donde mis ocupaciones me obligaron á suspenderla. Sin embargo, las excitaciones del Ilmo. Sr. Brigadier D. Tomás de Lora y de varios de mis compañeros me han decidido últimamente á concluirla, á pesar de encontrarme ahora en condiciones muy diferentes de cuando la empecé.

Inspirándome muy particularmente en las ideas de Grüner, decano de los metalurgistas franceses, y en las opiniones más admitidas en el Creusot, habiendo leído además todo cuanto referente al asunto ha llegado á mis manos, he procurado ordenar los diferentes procedimientos de fabricación en grupos fundados en el mismo principio, concretándome á describirlos lo más teóricamente que me ha sido posible, sin descender á explicar con minuciosidad los detalles de las diferentes operaciones, porque estos detalles son difíciles de retener en la memoria, y por otra parte, se conocen y comprenden perfectamente en cuanto se llega al terreno de la práctica.

No habiendo tenido ocasión de estudiar los procedimientos usados en nuestro país, la mayor parte de los que describo son extranjeros, y muy particularmente los que se siguen en el Creusot, que es lo que más conozco. No creo que esto sea un inconveniente, pues para aprender debe escojerse siempre el mejor modelo. Además, en España hoy día no hay donde copiar los procedimientos modernos, pues hemos tenido el poco acierto de adoptar, por ejemplo, el método de Chenot, cuyos resultados son casi ilusorios, y en cambio rechazar el de Bessemer, que quiso introducir su inventor cuando hizo sus primeros ensayos. Debiendo ser España el país más productor de hierro, por la misma razón que lo es de plomo, es decir, por la riqueza, abundancia y pureza de sus menas, está en SIDERURGIA, con muy raras excepciones, casi á la misma altura que á principios del siglo, y la mayor parte del hierro y acero que aquí se consume procede del extranjero, donde en una gran proporción se fabrica con nuestras mismas menas. Afortunadamente, ya se ha iniciado una era de prosperidad para nuestra patria, y es de esperar que la actual Exposición de Minería será el

germen que hará renacer la **SIDERURGIA** en España, del mismo modo que la **Exposición de Electricidad** de París ha sido la causa de los rápidos y sorprendentes progresos que se están verificando en tan importante ramo de la Física.

He dividido la obra en siete capítulos.

En el primero, después de hacer la clasificación de los diferentes productos que tienen por base el hierro, trato de sus principales propiedades y de la influencia que en ellas tienen los cuerpos que más comunmente se encuentran asociados á él.

En el segundo, describo las primeras materias empleadas en la fabricación, y señalo muy especialmente los criaderos de España donde se hallan con más abundancia.

En el tercero, cuarto y quinto, explico los diferentes métodos de fabricación del hierro colado, del hierro dulce y del acero.

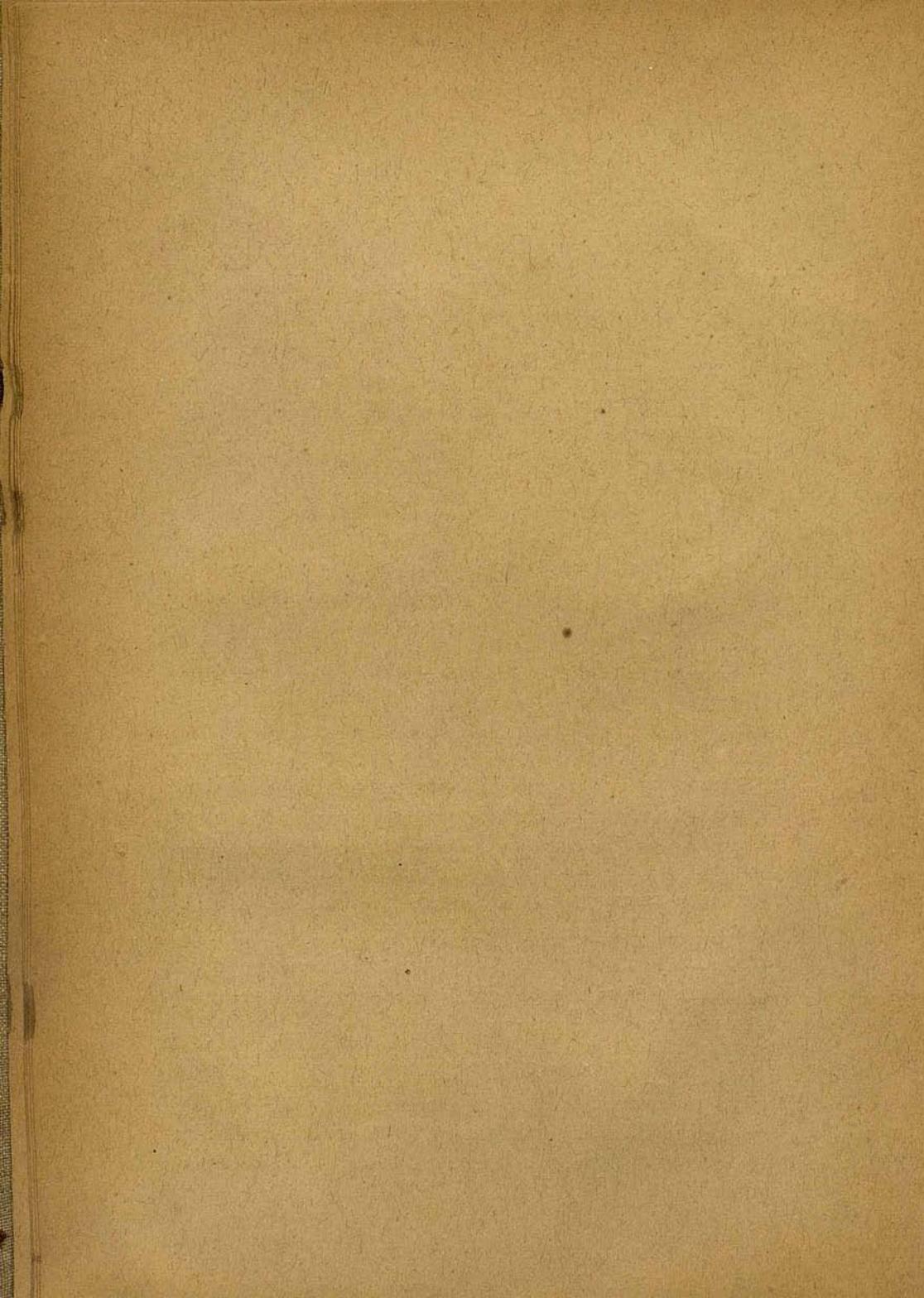
En el sexto, trato del trabajo de estos metales que puede modificar su calidad.

Y por último, en el sétimo, describo los diferentes ensayos mecánicos que deben ejecutar, tanto el fabricante para que le sirvan de guía, como el comprador para asegurarse de la calidad del producto que desea adquirir. No he incluido en este capítulo los análisis químicos, porque se encuentran en todos los tratados de Química.

Si he llenado los fines que me he propuesto, la mayor recompensa á mi trabajo será la satisfacción de haber contribuído en algo al desarrollo de un arte, que muy bién puede considerarse como la base de la mayor parte de las industrias, y que es medida de la prosperidad de las Naciones.

San Fernando, 7 de Junio de 1883.

Joaquín Rodríguez,



CAPÍTULO PRIMERO

NOCIONES PRELIMINARES

Artículo 1.º—Clasificación de los productos siderúrgicos.

1. Consideraciones generales.—Las propiedades que posee el hierro químicamente puro le harían impropio para la mayor parte de las aplicaciones, las cuales sería tan largo como supérfluo enumerar, pues á cualquier lado que se dirija la vista se le verá aplicado desde los usos más comunes á las obras más grandiosas, pudiendo decirse que el hierro es la verdadera palanca de la civilización. Con el hierro trabaja el labrador la tierra, el artesano hace sus herramientas y sus máquinas la mayoría de las industrias; difícilmente se encontrará una obra de construcción en la cual no intervenga, y por medio de él aseguramos la paz á nuestro país ó adquirimos gloria en los combates. No sólo no es conveniente el uso del hierro puro, sino que también es muy difícil obtenerlo; y se comprende perfectamente que las tendencias de los siderurgistas se hayan dirigido únicamente á sacar este metal de los minerales, que profusamente repartidos en nuestro suelo lo contienen, procurando despojarlo de las impurezas que en más ó ménos grado alteran sus buenas propiedades.

2. El número de cuerpos extraños al hierro que puede contener el metal que se obtiene de sus minerales, es á veces muy considerable; y como una prueba de ello, citaremos el análisis de una fundición negra, hecha por Fresenius (1), cuyo resultado fué el siguiente:

| | | | |
|----------------------|--------|-----------------------|-----------|
| Hierro | 93,279 | Zinc | Vestigios |
| Aluminio | 0,028 | Calcio | 0,072 |
| Manganeso | 0,388 | Magnesio | 0,010 |
| Cromo | 0,027 | Titano | 0,024 |
| Vanadio | 0,012 | Plomo | 0,459 |
| Cobre | 0,009 | Azufre | 0,036 |
| Arsénico | 0,015 | Silicio | 3,265 |
| Antimonio | 0,011 | Carbono combinado | 0,086 |
| Cobalto y Niquel . . | 0,035 | Carbono libre | 2,171 |

La mayor parte de estos cuerpos proceden de los minerales, y otros, como el carbono, del tratamiento á que se les ha sometido para obtener el hierro.

Aunque estos cuerpos existen en cantidades casi inapreciables, está fuera de duda que su presencia, particularmente la de algunos de ellos, ejerce grandísima influencia sobre las propiedades del hierro; y se comprende, por consiguiente, que debe haber una infinidad de especies ó variedades de este metal.

3. Para clasificar productos tan diversos, se les ha referido desde hace largo tiempo á tres tipos bién caracterizados: el *hierro colado* ó *fundición*, el *hierro dulce* y el *acero*. Todos los metales que tienen al hierro por base ó elemento principal, pueden incluirse en uno de estos tres tipos; pero se debe observar que se pasa de uno de ellos al siguiente por gradaciones insensibles, y por consiguiente, entre el hierro colado y el acero, y entre éste y el hierro dulce existen una infinidad de variedades intermedias.

(1) *Zeitschrift Analyt. Chemie*, 1865, p. 69.

Para clasificar estos tres tipos, puede tenerse en cuenta su composición química, ó bien sus diferentes caracteres físicos.

4. Distinción de los tres tipos férreos, teniendo en cuenta su composición química.—El elemento que más influencia tiene en las diferentes propiedades que pueden presentar los productos siderúrgicos, es indudablemente el carbono. Pequeñas diferencias en la proporción de este cuerpo hacen que los hierros que lo contienen se diferencien más entre sí por sus propiedades físicas, que muchos cuerpos de naturaleza química diferente.

Así es que químicamente pueden distinguirse el hierro dulce, el acero y el hierro colado por las proporciones del carbono contenido en ellos. Estas proporciones son las siguientes:

| | | | | |
|------------------|------|---|------|----------|
| Hierro dulce de | 0 | á | 0,25 | por 100. |
| Acero..... de | 0,50 | á | 1,50 | por 100. |
| Hierro colado de | 2 | á | 5 | por 100. |

El metal cuya proporción de carbono varía entre 0,25 y 0,50 por 100 es un *hierro acerado*, y el que contiene de 1,50 á 2 por 100 se llama *fundición acerosa ó tenaz*.

Esta clasificación no es absoluta, pues cierto número de sustancias extrañas tiene la facultad de reemplazar en parte al carbono.

5. Caracteres físicos distintivos del hierro, acero y fundición.—Los caracteres químicos que distinguen los tres tipos de productos siderúrgicos que hemos admitido, son de utilidad al químico que trata de distinguirlos é indispensables para comprender las reacciones que se verifican en su fabricación; pero son de poca utilidad en la práctica.

En la industria lo que conviene conocer son las propiedades físicas de estos metales, y por el examen de ellas es como se distinguen unos de otros. Vamos, pues, á pasar una

ligera revista á las más propias para caracterizarlos, que son la *maleabilidad*, *facultad de soldarse*, *fusibilidad* y *facultad de tomar el temple*.

6. Maleabilidad.—El tipo que contiene menos cantidad de carbono, el *hierro dulce*, es maleable en frío; es decir, que por el choque ó la presión puede extenderse de una manera permanente, adelgazándose en el sentido del esfuerzo y ensanchándose sin romperse en sentido perpendicular á él. En caliente es mucho más maleable; y á una temperatura comprendida entre 900 y 1200° puede trabajarse, haciéndole cambiar de forma, valiéndose para ello del choque del martillo ó la presión del laminador, como se haría con una sustancia plástica cualquiera, tal como la arcilla ó la cera; es decir, que puede forjarse.

A medida que la proporción de carbono aumenta en el metal, la maleabilidad disminuye, así como también la temperatura á que puede forjarse; hasta tal punto, que el *hierro colado* al calor rojo se rompe en pedazos cuando se le golpea con el martillo, y únicamente algunas fundiciones presentan en frío ligeras señales de maleabilidad, pues conservan la impresión del martillo.

Por consiguiente, el *hierro dulce* y el *acero*, aunque en diferente grado, poseen la propiedad común de dejarse forjar, propiedad de que carece el *hierro colado*.

7. Soldabilidad.—Calentado á una temperatura superior á la necesaria para el trabajo de forja, al *rojo blanco* ó *blanco soldante*, el hierro adquiere la propiedad de soldarse; es decir, que presenta á esta temperatura, que se halla comprendida entre 1300° y 1500°, cierta pastosidad que le permite unirse á sí mismo, de tal modo que, si la operación se ha hecho de la manera conveniente, dos piezas reunidas por el choque ó la compresión forman un solo cuerpo sin presentar discontinuidad.

La facultad de soldarse va disminuyendo á medida que aumenta el carbono contenido en el metal, lo mismo que la maleabilidad, é igualmente que en esta propiedad, va siendo

menor la temperatura á que puede hacerse esta operación. El metal, sin embargo, deja de poder soldarse antes de haber perdido la maleabilidad; es decir, que los aceros más carburados, que todavía se pueden forjar, se sueldan ya con mucha dificultad.

Segun esto, podremos decir que la *fundición* ó *hierro colado* no posee la propiedad de soldarse, el *hierro dulce* la posee en alto grado y el *acero* puede soldarse también, pero tanto menos cuanto más carburado es.

8. Fusibilidad.—La fusibilidad de los productos siderúrgicos aumenta á medida que es mayor la proporción de carbono; de tal manera, que la temperatura de fusion va descendiendo desde 1550°, que calcula Pouillet para el hierro puro, ó de 1600 á 2000°, segun Valerius (1), hasta 1050°, á que se liquida la fundición más fusible. Los tipos medios del acero, segun el mismo Pouillet, se funden á temperaturas comprendidas entre 1300 y 1400°.

El hierro dulce, aunque hoy día, tratando la fundición por ciertos procedimientos, puede obtenerse fundido, es, sin embargo, muy difícil si no imposible derretir directamente en los aparatos metalúrgicos masas de hierro un poco considerables. Así, pues, la *fundición* y el *acero* pueden fundirse y el *hierro dulce* es prácticamente infusible.

9. Facultad de templarse.—Una de las propiedades más características de los tres tipos que consideramos y muy útil, sobre todo, para poder distinguir el hierro del acero, que son los más difíciles de diferenciar, es el *temple*. Cuando se somete el acero á una elevada temperatura y en este estado se le enfría bruscamente sumergiéndole en agua, por ejemplo, es decir, cuando se *templa*, sus propiedades físicas se modifican notablemente. Su dureza aumenta en alto grado, tanto más cuanto más fuerte es el temple, pudiendo llegar á ser superior á la del vidrio. Con un temple débil aumenta la te-

(1) *Traité de la fabrication du fer et de l'acier*, por Valerius, página 707.

naidad y con un temple fuerte el producto se hace sumamente frágil. El límite de elasticidad se eleva con el temple hasta cierto grado, y por medio de esta operación, el acero adquiere flexibilidad.

Las propiedades del hierro no se modifican sensiblemente por el temple, y el efecto de éste no empieza á ser bien apreciable hasta tanto que el metal no contiene más de 0,5 por 100 de carbono.

Ciertas fundiciones se endurecen notablemente cuando se las hace solidificar enfriándolas bruscamente. Por lo tanto, puede decirse que el hierro colado es susceptible de tomar el temple.

10. Resumiendo los caracteres físicos que pueden servir para distinguir el hierro dulce, el hierro colado y el acero, podremos decir que:

El *hierro* es susceptible de forjarse y soldarse; no es prácticamente fusible y no se templea.

El *acero* puede forjarse, soldarse, fundirse y templarse; y

La *fundición* no puede forjarse ni soldarse; es relativamente muy fusible y puede adquirir el temple.

11. Clasificaciones modernas.—Como ya hemos indicado, (**3**), tanto teniendo en cuenta la composición química, como las diferentes propiedades físicas, existe, desde el hierro más puro hasta la fundición más carburada, una serie no interrumpida de variedades, que ha sido preciso designar añadiendo ciertos calificativos á los nombres de los tipos que hemos dado á conocer. Así es que se llama: *acero duro* al que contiene una gran dosis de carbono; *acero dulce* al que tiene poco, y *extra-dulce* al que tiene menos aún y se encuentra en el límite de separación del hierro y acero. Empléanse también los calificativos *duro* y *dulce* para comparar entre sí dos variedades cualesquiera de acero.

La inmensa variedad de hierros que hoy día pueden obtenerse y las diferentes maneras de producirlos han sido causa de lamentable confusión al quererlos clasificar. Hasta estos últimos tiempos se conocía con el nombre de *hierro to-*

do producto férreo poco carburado y no susceptible de temple obtenido, bien directamente de las menas de hierro, ó bien por el afino de los hierros colados; con el de *acero* el metal forjable y susceptible de templarse obtenido directamente del mineral, ó por la carburación del hierro dulce, ó bien por la descaburación del hierro colado, de cuyas diferentes maneras de tratamiento procedían los distintivos de *acero natural*, *acero cementado* y *acero de forja*; y finalmente, se conocía y se conoce con los nombres de *fundición de hierro* ó *hierro colado* el producto muy carburado obtenido en estado líquido por el tratamiento inmediato de los minerales. Pero desde que tratando la fundición por medio de ciertos procedimientos han llegado á obtenerse masas considerables de hierro y acero en estado líquido, se suele dar á 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.

Los metalurgistas han tratado de ponerse de acuerdo para dilucidar el sentido que debe darse á las palabras *hierro* y *acero*, y con este objeto, con motivo de la Exposición de Filadelfia, se formó una comisión internacional, compuesta de los Sres. Lowthiam-Bell, Tunner, Grüner, Wedding, Akermann, Holley y Egleston que propuso la nomenclatura siguiente:

1.º Todo compuesto férreo maleable que comprenda los elementos ordinarios de este metal, y se obtenga, sea por la reunión de masas pastosas, sea por el empaquetado ó por cualquier otro procedimiento que no implique la fusión y que, por otra parte, no se endurezca de un modo sensible y brevemente por el temple, todo lo que hasta hoy se ha designado con el nombre de *hierro dulce*, se llamará en lo sucesivo *hierro soldado* (*fer soudé*) en francés; (*weld iron*) en inglés; (*Schweiss-Eisen*) en alemán.

2.º Todo compuesto análogo que, por cualquier causa, se endurece bajo la acción del temple, y que en el día se

llama *acero natural*, *acero de forja*, ó particularmente *acero puddado*, se llamará *acero soldado* (acier soudé) en francés; (weld-steel) en inglés; (Schweiss-Sthal) en alemán.

3.º Todo compuesto férreo maleable, que comprende los elementos ordinarios de este metal, que haya sido obtenido y colado en estado fundido, pero que no se endurece sensiblemente bajo la acción del temple, se llamará *hierro fundido* (fer fondu) en francés; (ingot iron) en inglés; (Fluss-Eisen) en alemán.

4.º Por último, todo compuesto semejante que por una causa cualquiera, endurece bajo la acción del temple, se llamará *acero fundido* (acier fondu) en francés; (ingoot-steel) en inglés; (Fluss-Sthal) en alemán.

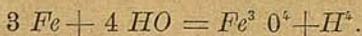
Art. 2.º—Propiedades químicas del hierro, del acero y de la fundición.

12. Acción del agua.—El agua pura privada de aire no tiene acción sobre los productos férreos; así es que estos pueden conservarse sin alteración bajo el agua que haya sido privada del aire por la ebullición.

Por el contrario, en contacto con el agua común, ó solamente expuestos al aire húmedo, estos metales se cubren de una capa de óxido hidratado, que comunmente se llama *orín*. Este orín forma con el hierro un par voltaico, y la corriente eléctrica que se produce descompone el agua de que está empapado, uniéndose el oxígeno con el hierro, que forma el polo positivo, y de esta manera la oxidación se propagará rápidamente hacia lo interior de la masa metálica.

La acción de la humedad será tanto más enérgica, cuanto más rugosa sea la superficie del metal, y por consiguiente se le preservará hasta cierto punto de esta acción, dándole un buen pulimento. Los objetos de acero, siendo susceptibles de más pulimento que los de hierro y fundición, serán menos oxidables, así como los de hierro colado, que son los que presentan una superficie más desigual, son los que se oxidan más fácilmente.

A la temperatura del rojo, el hierro descompone el vapor de agua y da origen á óxido de hierro magnético,



13. Acción del aire.—A la temperatura ordinaria el hierro no se altera en contacto con el aire seco; pero calentándolo, absorbe el oxígeno y se cubre de una película de óxido que, á medida que el espesor aumenta, va presentando distintos colores que aparecen en el mismo orden y á las mismas temperaturas para el hierro y para el acero: á 220° amarillo pajizo; á 240° dorado; á 255° pardo; á 265° purpúreo; á 285° azul claro; á 295° añil, y á 315° azul oscuro. El óxido formado á 500° es negro á la temperatura ordinaria, siendo por lo tanto este el color de toda pieza *bruta de forja*. Este óxido formado al calor rojo y que se desprende en hojas mientras se forja cualquier masa de hierro ó acero, es lo que se conoce con el nombre de *óxido de batiduras*. Al calor blanco el hierro se quema lanzando chispas, y basta someterlo calentado á esa temperatura á una fuerte corriente de aire, para que arda completamente lo mismo que en el oxígeno.

14. Influencia de las sustancias extrañas.—Como ya hemos dicho (2), el hierro del comercio contiene siempre cierto número de sustancias extrañas, metaloides y metales, cuya presencia modifica notablemente las propiedades de este metal. De estos cuerpos, unos provienen de los minerales, por no haberlos podido eliminar completamente durante las operaciones metalúrgicas, y otros han sido introducidos con los combustibles y reactivos empleados, ó proceden del revestimiento de los aparatos en que se han efectuado las operaciones.

La acción que sobre las propiedades del metal ejercen la mayor parte de las sustancias que suelen contener los productos férreos, no ha sido todavía suficientemente estudiada. Así es, que nos limitaremos á indicar las modificaciones pro-

ducidas por la presencia de las que se encuentran con más frecuencia y en mayor proporción, como son: el *carbono*, *azufre*, *fósforo*, *silicio*, *manganeso*, *cromo* y *tungsteno*.

15. Acción del carbono.—Hemos dicho ya (4) que el carbono ejerce una influencia preponderante sobre las propiedades físicas de los productos siderúrgicos, tanto, que hemos podido clasificar los tres tipos férreos teniendo en cuenta solamente la proporción del carbono contenido en ellos.

El carbono se une fácilmente al hierro á temperaturas elevadas. Puestos estos dos cuerpos en presencia uno de otro á una temperatura superior al rojo, el hierro va absorbiendo poco á poco el carbono y convirtiéndose en acero, pudiéndose conseguirse, si la operación se prolonga suficiente tiempo, el que se convierta en fundición más ó menos carburada.

Naturalmente, la reacción se verifica con tanta más facilidad, cuanto más divididos se encuentran los elementos que en ella intervienen; así es, que no es solamente el carbono puro el cuerpo que tiene la propiedad de carburar el hierro, sino que este fenómeno se verifica aún más fácilmente por algunos de sus compuestos, como el óxido de carbono, los hidrógenos carbonados y muy especialmente por medio de los cianuros.

Sobre todo, el hierro adquiere su mayor grado de carburación en el tratamiento de los minerales en los hornos altos. El hierro que resulta de la reducción de estos minerales, encontrándose muy dividido y á una elevada temperatura en presencia del carbono, absorbe á éste y se convierte en fundición. La proporción de carbono que ésta contiene, varía con muchas circunstancias, y muy particularmente, con la temperatura desarrollada en el horno y las proporciones relativas de menas y combustibles; pero muy rara vez se ha encontrado ser superior á un 5 por 100.

16. Los metalurgistas no están completamente de acuerdo respecto al estado en que se encuentra el carbono en el acero y en la fundición. El análisis químico arroja alguna

luz sobre esta cuestión; pero no la resuelve por completo.

Entre los diferentes hierros colados que pueden obtenerse, hay unos que presentan en su fractura un color blanco uniforme, y son conocidos con el nombre de *fundición blanca*, y otros que tienen un color gris más ó menos oscuro, bien uniforme ó bien mezclado con blanco, que se conocen con los nombres de *fundición gris*, *fundición negra* y *fundición manchada* ó *atruchada* (truitée). Si se trata por el ácido clorhídrico la fundición blanca ó el acero templado, se reconoce que todo el carbono contenido en estos metales es atacado por el reactivo. Pero, si se opera del mismo modo sobre el acero sin templar ó la fundición gris, se observará que una parte del carbono escapa á la acción del ácido y queda en estado de grafito.

De esto se deduce, desde luego, que en la fundición gris y en el acero sin templar, el carbono se encuentra en dos estados diferentes.

La parte de carbono que no es atacada por los reactivos se encuentra, sin ningún género de duda, en estado de grafito mezclado en la masa del metal. En la mayor parte de las fundiciones grises pueden verse los granos de grafito con ayuda de un microscopio y en muchas á la simple vista, pudiendo hasta separarse por medio de una punta afilada.

Respecto á la parte de carbono que es atacada por los reactivos, indudablemente se encuentra en un estado de gran división; pero no se sabe si está en combinación con el hierro ó simplemente disuelta en él.

Hasta estos últimos años ha estado muy generalizada la hipótesis de Karsten que suponía que el carbono se encuentra formando un carburo de hierro disuelto en la masa metálica, carburo de proporciones definidas, pero al cual llama *policarburo*, no pudiendo indicar su composición.

Tunner pretende que las fundiciones blancas, el hierro ordinario y el acero templado, son disoluciones de hierro puro en un carburo de la fórmula Fe^3C y que las fundiciones grises y el acero sin templar son mezclas de carbono en es-

tado de grafito con disoluciones de hierro en el citado carburo.

Hoy día la idea más generalmente admitida es suponer que el carbono que no se encuentra en estado de grafito se halla simplemente disuelto en el hierro, y por medio de esta hipótesis se explican fácilmente los fenómenos que presentan los metales carburados cuando se hace variar más ó menos bruscamente su temperatura.

La objeción más seria que se hace á esta teoría es, que es difícil poder admitir que, siendo el carbono completamente infusible y tan elevada la temperatura de fusión del hierro puro, la simple mezcla del hierro con una pequeña cantidad de carbono pueda dar un metal tan fusible como la fundición. A esto puede darse, sin embargo, una explicación: las moléculas de carbono interpuestas entre las del hierro, deben disminuir su atracción mútua y facilitar por lo tanto su separación para pasar al estado fluido. Fenómenos de esta especie se presentan en un gran número de disoluciones, en las cuales desciende el punto de fusión del disolvente. Así, por ejemplo, el agua saturada de sal marina no se congela hasta -20° ó lo que es lo mismo, el hielo que tiene en disolución sal marina se funde á -20° en vez de fundirse á 0° .

17. - Partiendo de la hipótesis de que el carbono que es atacado por los reactivos está simplemente disuelto en el hierro, puede explicarse cómo se encuentra en diferentes estados en el acero templado y en el sin templar.

Siendo el acero una disolución de carbono en el hierro, y aumentando la solubilidad de los cuerpos sólidos con la temperatura, se comprende perfectamente que la parte de carbono, que se encuentra en estado de grafito en el acero sin templar, pueda llegar á disolverse por completo en la masa metálica aumentando suficientemente la temperatura. Si en este estado se deja que el metal se enfríe lentamente, como la cantidad de carbono que puede disolverse disminuye con la temperatura, las moléculas se irán reuniendo en diferentes puntos de la masa y el exceso del que puede disolverse á la temperatura ordinaria quedará cristalizado en forma de

grafito. Si por el contrario se enfría repentinamente el metal sumergiéndole en agua fría, por ejemplo, las moléculas de carbono quedarán aprisionadas entre las del hierro y no podrán agruparse entre sí, quedando todo el carbono disuelto. Es decir, que el acero templado está sobresaturado de carbono, análogamente á lo que puede practicarse con diferentes disoluciones salinas dificultando por medios mecánicos el movimiento molecular de la sal disuelta.

Hemos dicho (16) que una parte del carbono contenido en la fundición gris, no es atacado por los ácidos, y que en la fundición blanca todo el carbono es atacado. Esta última presenta, pues, analogía con el acero templado, así como la fundición gris se parece al acero sin templar. De esto debería resultar que la fundición gris podría convertirse en fundición blanca por un enfriamiento rápido, é inversamente la fundición blanca se podría transformar en gris por un enfriamiento lento. Así sucede, en efecto, con muchas especies de fundición; pero hay otras que no sufren estas transformaciones. Ciertas fundiciones grises contienen una cantidad total de carbono mayor que el máximo que puede disolver el metal, y por lo tanto, no pueden convertirse en fundiciones blancas, y hay varias de éstas en que el carbono se encuentra disuelto merced á la presencia de una sustancia extraña, y por consiguiente queda siempre en disolución por muy lentamente que se disminuya la temperatura.

18. A temperaturas superiores al calor rojo, el carbono tiene más afinidad por el oxígeno que el hierro; y de esto resulta que un metal carburado, en presencia del aire ó en contacto con un cuerpo oxidante, se descarburará parcialmente si se calienta á una temperatura muy alta. Así es que el acero, si se mantiene caliente durante mucho tiempo á una elevada temperatura, ó si se le hace sufrir varias caldas, pierde poco á poco su carbono y se convierte gradualmente en hierro dulce. Los hierros colados á los que se hace sufrir una segunda fusión se descarburan también algún tanto durante ella; así es, que es preciso hacer uso de fundiciones más carburadas

que las que se desee obtener por su refusión, sobre todo si están oxidadas, pues el oxígeno de este óxido se añade al del aire para combinarse con el carbono, y por lo tanto, la des-carburación será más enérgica.

19. Acción del azufre.—El azufre se encuentra casi siempre en más ó menos proporción en todos los productos siderúrgicos. No tan sólo hay muchos minerales que contienen compuestos de este metalóide, sino que también lo contienen la mayor parte de los combustibles minerales. Así es, que casi todas las fundiciones obtenidas con cok tienen una cierta proporción de él, y por lo tanto el hierro y acero obtenidos con ellas.

20. El azufre y el hierro tienen gran afinidad entre sí y basta calentarlos juntos para que se unan en todas proporciones, pues el sulfuro de hierro tiene la propiedad de disolverse en el hierro puro ó muy pobre en carbono.

21. El azufre no perjudica á la tenacidad del hierro en frío, pero lo hace muy quebradizo en caliente, siendo sumamente difícil poder taladrarle ó laminarlo sin que se agriete en los bordes; bastando para esto, según los ensayos de Eggertz, que contenga 0,02 por 100. Sin embargo, en ciertos hierros obtenidos en estado fundido, se ha encontrado una proporción de azufre hasta de 0,04 por 100 sin que resultaran quebradizos, lo cual parece dar á entender que su efecto es tanto menor cuanto más uniformemente repartido se encuentra en la masa metálica.

Afortunadamente la influencia nociva del azufre varía con la temperatura y si el trabajo del hierro se apresura de manera que se acabe ántes de que ésta haya descendido al punto en que se manifiesta la propiedad de hacerse quebradizo, puede obtenerse un buen producto con hierros que contengan hasta 0,01 por 100 de azufre.

22. La acción del azufre se hace sentir menos en el acero que en el hierro. Brusewitz ha encontrado que el acero de Bessemer duro se resiente menos de la influencia del azufre que el dulce. Esto será tal vez debido á que el azufre se en-

encuentra distribuido más uniformemente á medida que el producto es más fluido, ó también á la acción del manganeso que siempre se encuentra en cantidad relativamente considerable en el acero fundido.

23. La presencia del azufre en las fundiciones modifica el estado y la cantidad de carbono contenido en ellas. Parece que disminuye la cantidad total de carbono absorbido y aumenta la proporción del que se combina ó disuelve. Así es, que se ve que las fundiciones sulfurosas tienen una gran tendencia á blanquearse. Si la proporción de azufre es algo considerable, las fundiciones resultan ampollosas. Las ampollas están llenas de sulfuro de carbono, y si se ha colado en moldes húmedos, los gases contenidos en ellas son hidrógeno sulfurado y óxidos de carbono.

Una cantidad pequeña de azufre parece aumentar la resistencia, pudiendo esto explicarse por la acción que el azufre tiene sobre la proporción de carbono y sobre el estado en que éste se encuentra, pues podrá ser causa de que esta proporción no exceda del límite que da á la fundición el máximo de resistencia, resistencia que será además aumentada por la disminución de la cantidad de carbono en estado de grafito.

24. Acción del fósforo. Los hierros y aceros que contienen fósforo se trabajan muy bien en caliente; es decir, que se forjan y sueldan con mucha facilidad, pero el fósforo aumenta la dureza y fragilidad de estos metales á la temperatura ordinaria.

El fósforo aumenta también la resistencia á la tracción si no se encuentra en gran cantidad; pero el metal pierde siempre resistencia al choque por la presencia de dicho metaloide. Una dosis de fósforo de 0,2 y hasta de 0,3 por 100, lejos de perjudicar al metal, puede mejorarlo si no contiene otro cuerpo capaz de endurecerlo, como el carbono, y si no se le somete más que á esfuerzos de tensión sin producir ninguna vibración.

La dureza y fragilidad ocasionadas por el fósforo se dis-

tinguen de las que resultan del carbono, en que no pueden disminuir por el recocido, es decir, por un enfriamiento lento. Cuando se calienta un hierro endurecido por el fósforo, desaparecen, pero vuelven á manifestarse en cuanto se enfría.

25. El fósforo aumenta notablemente la fusibilidad de la fundición y así es que las fundiciones fosforosas convienen perfectamente para moldear objetos delicados. En Berlín se explota un mineral muy fosforoso para producir fundiciones destinadas exclusivamente á la fabricación, por vía de moldeo, de objetos de adorno que no necesitan presentar una gran resistencia.

26. Acción del silicio. El hierro se combina en todas proporciones con el silicio lo mismo que con el azufre y el fósforo; y como casi todos los minerales contienen elementos silíceos en la ganga, y cuando no los tienen es preciso añadirseles para su tratamiento en el horno alto, resulta que los agentes que reducen el óxido de hierro, reducen también una parte de la sílice, y el silicio que queda libre se combina ó disuelve en el hierro.

Todas las fundiciones contienen, por lo tanto, silicio en mayor ó menor proporción, y aun cuando en el tratamiento de ellas para obtener el hierro ó el acero puede eliminarse la mayor parte, siempre queda cierta cantidad en ellos.

El hierro y el acero contienen, pues, casi siempre una proporción de silicio más ó menos grande.

27. Según Valerius, la presencia del silicio hace al hierro más duro y menos tenaz, y el que contiene una proporción algo notable de él, se distingue por su estructura granulosa y su color más oscuro. Karsten dice que el hierro y acero que contienen 0,37 por 100 de silicio son quebradizos en frío y en caliente. En la fábrica de Seraing parece haberse comprobado que el acero que contiene 0,5 por 100 de silicio es quebradizo á temperaturas superiores al rojo. Según Snellus, 0,1 por 100 de silicio hacen agrio en frío al acero de Bessemer.

Por el contrario, Siemens dice que una pequeña cantidad de silicio aumenta la dureza del acero sin disminuir sensiblemente su dulzura en frío, y Akerman refiere que en Estokolmo se ha analizado un acero de Krupp que contenía 0,3 por 100 de silicio y que Boussingault había hallado en un acero de Bessemer 0,497 por 100 de silicio, á pesar de lo cual el metal era utilizable.

La razón de estas diferentes opiniones debe ser el haber tenido en cuenta la proporción de silicio contenido en el metal y haber prescindido de los demás elementos que éste pudiera tener y de la acción que pueden ejercer sobre sus cualidades. Parece, en efecto, comprobado, que la influencia del silicio, aunque en menor grado, tiene mucha analogía con la del carbono disuelto, es decir, que aumenta la dureza, fusibilidad y fragilidad del producto. Por consiguiente, una misma cantidad de silicio agregada á un hierro dulce y á un acero, podrá dar en el primer caso un producto de propiedades análogas al acero templado, y en el segundo un metal más duro que el que le ha dado origen que, según la cantidad de silicio, podrá considerarse como acero ó como fundición.

De la propiedad que tiene el silicio de poder sustituirse al carbono, se ha sacado partido ventajosamente para fabricar aceros exentos de ampollas. El acero fundido presenta siempre una estructura ampollosa á consecuencia del óxido de carbono que no puede desprenderse en el momento de la solidificación del metal. Por consiguiente, si en vez de dar dureza al hierro por medio de la carburación se hace uso del silicio, como los productos de la oxidación de este metalóide y las combinaciones á que pueden dar lugar son todos sólidos, no habrá producción de gases y el metal resultará sin ampollas.

28. El silicio aumenta la dureza, acritud y fusibilidad de las fundiciones.

Las fundiciones blancas rara vez contienen más de 0,5 por 100 de silicio. Las grises contienen tanto menos silicio cuanto mayor es su proporción de carbono y viceversa, y la suma de los dos cuerpos es generalmente de 4 á 8 por 100.

29. El silicio combinado se separa por oxidación, lo mismo que el carbono, cuando se calienta convenientemente el metal, con la diferencia de que los productos de la oxidación del carbono son gaseosos y los del silicio son sólidos y dan lugar generalmente á silicatos más ó menos fusibles por su combinación con el óxido de hierro ú otros óxidos básicos que existan ó puedan formarse en la masa metálica.

30. Si en general el silicio hace perder á los productos siderúrgicos muchas de sus buenas cualidades, por el contrario les da en ciertas circunstancias propiedades particulares y útiles. Además de la que ya hemos indicado de poder producirse con él acero sin ampollas, es indispensable, casi puede decirse, su presencia en muchos tratamientos. En el procedimiento de Bessemer la masa metálica no podría adquirir la fluidez necesaria para la marcha de la operación si no fuese por la enorme cantidad de calor que desarrolla la combustión del silicio.

31. Acción del manganeso. — La presencia del manganeso es muy útil en el tratamiento del hierro y del acero, y casi indispensable para obtener el segundo; pues siendo un metal más electropositivo que el hierro, se apodera de ciertos elementos perjudiciales que éste contiene, como son el exceso de oxígeno y de silicio, y puede combinarse también con una parte del azufre formando sulfuro de manganeso. Es un hecho demostrado que, si el manganeso no elimina siempre el azufre, posee al menos la propiedad de contrabalancear el efecto perjudicial de este cuerpo. Así, el acero fundido, que por contener azufre no puede forjarse ni laminarse más que al rojo oscuro, puede, cuando está aleado con 0,50 á 1 por 100 de manganeso, trabajarse á una temperatura mucho más elevada y hasta al blanco soldante; pero una dosis más considerable haría al metal quebradizo en frío.

El manganeso parece aumentar la dureza del hierro y del acero sin afectar á sus demás cualidades, cuando la proporción no es muy grande; pasados ciertos límites le vuelve quebradizo en frío y difícil de forjar.

32. La presencia en los hierros colados de una cantidad sensible de manganeso les comunica la propiedad de retener el carbono en estado de combinación ó disolución. Así es que las fundiciones manganesíferas son generalmente blancas, y cuando la proporción de manganeso llega á ser de un 7 á un 10 por 100, la fundición es de textura cristalina presentando su fractura un conjunto de facetas brillantes, que ha sido causa de que se le dé el nombre de *fundicion especular* (Spiegeleisen). Estas fundiciones retienen generalmente un 5 por 100 de carbono y se emplean muy preferentemente en el tratamiento del acero.

33. Con el mismo objeto que la fundicion especular se emplea también hoy día una aleación mucho más rica en manganeso, pues contiene hasta un 20 por 100, conocida con el nombre de *ferro-manganeso* y que se prepara reduciendo juntos á una elevada temperatura, y por medio del carbón, minerales manganesíferos y férricos, una mezcla, por ejemplo, de carbonato de manganeso y peróxido de hierro.

34. Acción del tungsteno y del cromo.—Una cierta cantidad de tungsteno (Wolfran) comunica al acero propiedades notables.

Los mejores aceros de esta clase que corren en el comercio, destinados muy especialmente á la fabricación de herramientas, son los de Mushet (Mushet's special stahl). Este acero posee antes del temple una dureza que le hace inatacable por la mejor lima inglesa: pero por el temple se ablanda y llena de grietas. Al mismo tiempo que dureza, tiene una gran tenacidad. Puede forjarse al calor rojo, y como no le muere la lima, los objetos fabricados con él tienen que terminarse con una rueda de esmeril.

El trabajo debe hacerse rápidamente y con el menor número de caldas posible, pues al calentar el lingote, el tungsteno se oxida primeramente en la superficie y gradualmente hacia el centro, perdiendo al cabo de cierto número de caldas todas sus cualidades especiales.

La acción del cromo es análoga á la del tungsteno.

CAPÍTULO II

PRIMERAS MATERIAS

35. Antes de empezar el estudio de los diferentes procedimientos de fabricación del hierro, acero y hierro colado, conviene dar á conocer las primeras materias que se emplean en ellos, y que pueden comprenderse en tres grupos:

- 1.º Las *menas* que contiene el metal que debe extraerse.
- 2.º Los *fundentes* que sirven para facilitar la separación del metal de las sustancias extrañas con que se halla mezclado en las menas, y
- 3.º Los *combustibles* para producir el calor necesario á las operaciones metalúrgicas, haciendo en muchas de ellas al propio tiempo el papel de agente reductor.

Artículo primero.—Menas.

36. Los únicos minerales que pueden considerarse como menas de hierro son los óxidos y los carbonatos; pues los sulfuros, sulfatos, arseniuros, etc., además de lo dispendioso de su tratamiento, darían un metal de muy mala calidad.

Las menas de hierro pueden clasificarse en cuatro especies principales:

- 1.º Oxídulo de hierro ú óxido magnético, Fe^3O^4 .
- 2.º Peróxido ó sesquióxido de hierro anhidro Fe^2O^3 .
- 3.º Peróxido de hierro hidratado, Fe^2O^3 . HO .
- 4.º Carbonato de hierro, $Fe O$. CO^2

Estas menas se encuentran distribuídas con profusión en masas ó filones en casi todos los terrenos. Muy excepcionalmente se hallan en estado de pureza, pues además de compuestos de azufre, fósforo, manganeso, etc., contienen generalmente una *ganga*, en la que unas veces predomina la sílice, otras la arcilla y otras la cal. Se dice que la mena es *rica* cuando es pequeña la proporción de ganga, y *pobre* en el caso contrario.

Además de las menas naturales se emplean también para la fabricación de los productos férreos, productos accesorios de esta misma fabricación, como son algunas *escorias* y los óxidos que se separan en la forja del hierro y que se llaman *óxidos de batiduras*.

Vamos á dar una breve descripción de las principales menas.

37. Oxidulo de hierro. El oxidulo de hierro, óxido de hierro magnético ó magnetita, tiene por fórmula química $Fe^3 O^4$ ó $Fe O. Fe^2 O^3$, pues algunos lo consideran como una combinación del protóxido y peróxido de hierro, en la que el peróxido hace el papel de ácido.

Se encuentra en masas considerables en los terrenos antiguos, particularmente en los esquistos micáceos, en masas compactas y muchas veces en forma de granos cristalinos octaédricos con brillo metálico.

Su fractura es de un negro brillante y su polvo es negro más ó menos parduzco.

Su propiedad característica es la acción que ejerce sobre una barra imantada.

En general es una mena muy rica y muy pura; algunas variedades producen hasta un 72 por 100 de hierro, y el hierro es de la mejor calidad.

En Suecia y en Siberia se explotan criaderos abundantísimos.

En Francia se beneficia una mena muy pura compuesta de óxido magnético que contiene una cierta cantidad de peróxido anhidro procedente de Mokta el Hadid (Argelia.)

En España existe un abundante criadero de óxido magnético en Marbella, del cual se surten varias ferrerías de la provincia de Málaga y también se encuentra este mineral en Porcia (Oviedo), en Val de San Lorenzo (León) y en Caralps y Palafrugell (Gerona).

38. Peróxido anhidro. Esta mena de hierro es muy abundante en la naturaleza y sus principales variedades pueden clasificarse en tres grupos conocidos con los nombres de *hierro oligisto*, *hematites roja* y *hierro oxidado rojo*.

39. El *hierro oligisto* se presenta en cristales romboédricos de un color oscuro y metálico, pero cuyo polvo presenta el color rojo. Con el nombre de *hierro micáceo* se distingue una variedad de este mineral formada por pequeñas escamas exagonales de brillo metálico y cuyo polvo también es rojo.

40. La *hematites roja* es el nombre que se da al peróxido de hierro anhidro cuando se presenta en masas concrecionadas de un color rojo más ó menos violáceo; siendo su color muy oscuro cuando, como sucede muy frecuentemente, se encuentra mezclado con óxido de manganeso. Su fractura es mate y radiada y su polvo rojo.

41. El *hierro oxidado rojo*, *granular ó terroso*, se encuentra en forma de masas compactas, sin brillo, de fractura granulosa ó térrea, ó en granos pegados, esféricos ó aplastados, que están formados por capas concéntricas dispuestas alrededor de un núcleo de arena.

42. Las gangas de las menas de peróxido de hierro suelen ser el cuarzo, la barita, las litomargas, la mica y á veces las arcillas. Algunas variedades son muy ricas y contienen más de 99 por 100 de peróxido de hierro.

43. Uno de los criaderos más notables de esta mena es el de la Isla de Elba, que se explotaba ya en tiempo de los romanos.

En Argel también se encuentra muy rica y en España muy abundante en las provincias Vascongadas, en Asturias, León, en el Pedroso (provincia de Sevilla), en el centro de Extremadura, en los terrenos montañosos que

separan las cuencas del Guadalquivir y Guadiana, en Jumilla (Murcia), Paviás (Castellón), Baigorri (Navarra), Orihue-la, Linares, San Juan de las Abadesas y Sierra Almagrera.)

44. Peróxido hidratado.—Es la más abundante de todas las menas de hierro y se encuentra en toda clase de terrenos, pero especialmente en la calcárea oolítica. Se distingue del peróxido anhidro por el color de su polvo, que es de un pardo amarillento. Es también menos rica y menos pura, pues muchas de sus variedades contienen azufre y sobre todo fósforo.

Las principales variedades son: la *hematites parda*, el *hidróxido compacto*, el *hidróxido granular*, el *hidróxido oolítico*, el *hidróxido terroso* y la *limonita*.

45. La *hematites parda*, existe en forma de masas concrecionadas y filones en los terrenos antiguos y de transición, es de color pardo oscuro y presenta una fractura cérea ó fibrosa. Por la calcinación pierde de 9 á 14 por 100 de agua y se vuelve de color rojo. Es una variedad bastante rica, pues por ejemplo, la que se explota en Somorrostro (Vizcaya), contiene más de un 75 por 100 de peróxido anhidro.

Muchas variedades de esta mena contienen manganeso y en sus gangas se encuentran ordinariamente la sílice, la alúmina y la cal.

46. El *hidróxido compacto* se presenta en masas amorfas de un pardo más claro que el de las hematites; algunas veces tiene azufre, fósforo y arsénico. Las gangas suelen ser cuarzosas ó arcillosas y contienen á menudo sulfato de barita. El que se encuentra en Terreros (Vizcaya), contiene 65 por 100 de peróxido de hierro.

47. El *hidróxido granular* está formado de globulillos que suelen llegar á tener el tamaño de un guisante. En Ronda, donde se halla en abundancia, se le da el nombre de *hierro en perdigones*. Estos granos están diseminados en la arcilla ó bién cimentados por una pasta de una calcárea arcillo-ferruginosa. Su fractura manifiesta que están

formados de varias capas concéntricas de mineral agrupadas alrededor de un núcleo de arena ó de caliza.

Se encuentra en montones en la separación de ciertas capas del terreno jurásico y más frecuentemente en los terrenos terciarios medios que cubren las mesetas de caliza jurásica y de creta.

Estas menas son de una riqueza media, pero generalmente bastante puras.

48. El *hidróxido oolítico* existe formando capas en las calizas oolíticas y está constituido por una aglomeración de pequeños globulillos aglutinados por una arcilla ferruginosa.

Su aspecto es parecido al de las huevas de pescado.

Estas menas contienen generalmente sílice gelatinosa y alúmina, algunas veces azufre y casi siempre fósforo.

49. El *hidróxido terroso* presenta siempre una fractura mate é igual; es tierno y se pega á la lengua; de color pardo amarillento, tanto más claro cuanto más pobre es. Procede de la descomposición de las piritas. Cuando en el ensayo da menos de 30 por 100, no puede utilizarse como mena de hierro.

50. La *limonita ó hierro pantanoso* es de formación moderna y se encuentra en los terrenos terciarios ó en los de aluvión. Es siempre muy impuro, conteniendo una gran proporción de fósforo. Tiene un brillo craso y resinoso tanto más pronunciado cuanto mayor es la cantidad de fósforo que encierra.

Su riqueza varía de un 50 á un 72 por 100 de óxido; pero á causa de la gran cantidad de fósforo que contiene, no puede aplicarse más que á la fabricación de hierros colados para la moldería de objetos de ornamento (**25**).

51. Las diferentes menas de peróxido hidratado se encuentran profusamente repartidas en Bélgica, Francia, Suecia; y en Inglaterra se encuentran abundantes criaderos de hematites pardas, en Cornouailles y en el Gloucestershire.

En España, las ricas y puras hematites de Somorrostro surten la Europa entera, siendo una de las menas de que

echan mano los principales establecimientos de Inglaterra, Francia y Alemania, cuando necesitan obtener productos de superior calidad. En Guipúzcoa, Asturias y montes de León se encuentran también con profusión las hematites pardas, y en la provincia de Cartagena hay hidróxidos compactos en Porman y Escombreras, estos últimos muy manganesíferos, y limonita en las provincias de Castellón y Soria.)

52. Carbonato de hierro.—El *carbonato de hierro ó siderosa* es un mineral que se encuentra abundantemente repartido y activamente explotado. Se distinguen dos variedades principales: *el hierro carbonatado cristalino ó hierro espático, y el hierro carbonatado litoideo.*

53. El *hierro espático* se halla en los terrenos primitivos y de transición cristalizado en romboedros y contiene casi siempre carbonatos de magnesia y de manganeso. Algunas veces se encuentra también asociado á la galena, á la blenda y á minerales arsenicales; pero nunca es fosforoso. Cuando no está alterado presenta un color blanco ó amarillento. Pero expuesto al aire se altera lentamente perdiendo su ácido carbónico, que se une al carbonato de magnesia que contiene, trasformándolo en bicarbonato que se disuelve. De este modo el carbonato de hierro se convierte poco á poco en peróxido sin perder su forma cristalina, pero tomando un color pardo. A los hierros espáticos que han llegado á este grado de descomposición, se les da el nombre de *menas dulces.*

54. El *hierro carbonatado litoideo* es el carbonato de hierro que se presenta en estado compacto y abunda particularmente en los terrenos hulleros.

Es de un pardo gris más ó menos oscuro y suele encontrarse impregnado de arcilla bituminosa y de hulla; contiene fosfatos de hierro y cal, piritas y algunas veces blenda. Cuando es de un color muy negro, por contener una proporción de materias carbonosas mayor de un 10 por 100, se le conoce en Inglaterra con el nombre de *black-band.*

55. Los principales criaderos de hierro espático se encuentran en la Westfalia, en Estiria y en el país de Siegen y

con él se producen excelentes hierros especulares muy estimados para la fabricación del acero. Abunda también en los Pirineos, en los Alpes y en algunos condados de Inglaterra. En esta última nación se benefician sobre todo ventajosamente los hierros carbonatados que se hallan en el terreno hullero, especialmente en Escocia y en el país de Gales. En estos países se encuentran á la vez, colocadas por capas verticales, las menas de hierro, la hulla que sirve para reducir las, la caliza que sirve de fundente y hasta las arcillas empleadas en la construcción de los hornos altos. De manera que los gastos de extracción y transporte son muy reducidos y puede por lo tanto venderse el hierro muy barato.

En España, hay carbonatos de hierro en Linares, Hinojosa (Córdoba), Oyarzun (Guipúzcoa), en Somorrostro y en Sierra Nevada.

56. Cerraremos la descripción de las menas de hierro con los siguientes análisis, que hemos podido procurarnos, de algunas variedades tomadas entre las innumerables que se encuentran profusamente repartidas en nuestra Península.

ANALISIS
DE
MENAS ESPAÑOLAS

MEÑAS DE HIERRO ESPAÑOLA

| PERÓXIDO ANHIDRO. | Peróxido de hierro. | Silice. | Alúmina. | Carbono de cal. | | |
|---|----------------------|--------------------|------------|-----------------|------------------|-----|
| 1.º HIERRO OLIGISTO. | | | | | | |
| Hierro oligisto de Guipúzcoa. | 88,20 | 10,00 | 0,55 | 1,80 | | |
| Idem íd. de San Emilio (Bidasoa)..... | 92,60 | » | » | » | | |
| Idem oolítico de Auro (Asturias)..... | 50,19 | 40,98 | 4,97 | 0,46 | | |
| Idem íd. de Anguleso (íd.)..... | 49,12 | 38,45 | 3,20 | 0,84 | | |
| 2.º HEMATITES ROJA. | | | | | | |
| | Agua. | Silice. | Alúmina | Cal. | Acid. carb. bóm. | |
| Hematites compacta de Bilbao..... | 3,05 | 5,60 | 4,50 | 1,50 | 0,0 | |
| Idem íd. carboníferas de San Pedro (Asturias) | » | 4,88 | 1,68 | » | » | |
| Idem íd. de San Paulino (íd.)..... | » | 5,20 | 1,00 | » | » | |
| PERÓXIDO HIDRATADO. | Peróxido de hierro. | Oxido de manganeso | Arcilla. | Cuarzo | | |
| 1.º HEMATITES PARDA. | | | | | | |
| Mineral de Somorrostro (Bilbao)..... | 75,05 | 1,45 | 12,50 | » | | |
| Hematites de San Emilio (Guipuzcoa)..... | 65,20 | 4,40 | » | » | | |
| Idem fibrosa de íd..... | 75,00 | » | » | » | | |
| 2.º HIDRÓXIDO COMPACTO. | | | | | | |
| | Hierro. | Manganeso. | Silice. | Cal. | Alúmina. | Az. |
| Mineral de Porman..... | » | » | 10,02 | 1,00 | 0,80 | » |
| Idem manganífero de Vulcano..... | 45,00 | 6,50 | 10,00 | 3,00 | » | 0,0 |
| Idem de Escombreras..... | 35,00 | 15,12 | 8,00 | 3,10 | Vestig. | 0,0 |
| Hidróxido de Cartagena..... | 18,36 | 27,00 | 13,30 | 6,50 | 1,80 | 0,2 |
| CARBONATOS DE HIERRO. | Protóxido de hierro. | Oxido de manganeso | Cal. | Magnes. | | |
| HIERRO ESPÁTICO. | | | | | | |
| Hierro espático de Guipúzcoa. { | San Emilio. | 56,16 | 2,71 | 2,10 | » | |
| | San Joaquín | 57,72 | 3,40 | 1,90 | 1,8 | |
| | San Marcial | 53,17 | 3,70 | 2,30 | 3,8 | |
| Idem de Miasuré (Bidasoa)..... | 66,40 | 9,20 | Vestigios. | » | | |
| MINERALES DE MANGANESO. | | | | | | |
| | Silice. | Manganeso. | Hierro | | | |
| Mineral de Almería..... | 11,00 | 42,34 | 1,72 | | | |
| Idem íd..... | 3,70 | 49,87 | 1,35 | | | |
| Idem de Huelva (Pirolusita)..... | 6,20 | 52,78 | 1,89 | | | |

DE VARIAS PROCEDENCIAS.

| Ganga. | Fósforo. | Hierro. | Total. | Pérdida por calcinación | Procedencia del análisis. | |
|--------|----------|---------|--------|-------------------------|--|--|
| » | » | 61,74 | 100,98 | 0,43 | Schichedentz. Moissenet. Fábrica de Mieres. Idem. | |
| 5,60 | » | 64,80 | 99,20 | 1,00 | | |
| » | 0,24 | » | 100,00 | 3,16 | | |
| » | 0,30 | » | 100,00 | 8,09 | | |

| Mag- nesia. | Oxido de man- ganeso. | Oxido férrico. | Car- bonato de cal. | Cal- cination y pérdida | Total. | Hierro en el ensayo. | Procedencia del análisis. | |
|-------------|-----------------------|----------------|---------------------|-------------------------|--------|----------------------|--|--|
| 1,20 | 1,50 | 82,70 | » | » | 100,00 | 57,89 | Laborat.º de Couillet (Bélgica) Fábrica de Mieres. Idem. | |
| » | » | 75,88 | 10,80 | 6,76 | 100,00 | » | | |
| » | » | 66,00 | 17,20 | 10,60 | 100,00 | » | | |

| Agua. | Pérdida por calcinacion | Total. | Hierro en el ensayo. | Procedencia del análisis. | |
|-------|-------------------------|--------|----------------------|----------------------------|--|
| 11,00 | » | 100,00 | » | Escuela de minas de París. | |
| » | 12,60 | 99,80 | 56,00 | | |
| » | 11,60 | 99,90 | 55,50 | | |

| Fós- foro. | Mag- nesia. | Peróxi- do de hierro. | Acido sul- fúrico. | Acido fos- fórico. | Agua y ácido carb.º | Protó- xido de manga- neso. | Hierro en el ensayo. | Procedencia del análisis. | |
|------------|-------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|
| » | 0,30 | 76,30 | 0,34 | 0,07 | 9,4 | 0,40 | 53,41 | El Creusot (Francia). Terre-Noire (Id.) Idem. Idem. | |
| 0,01 | » | » | » | » | » | » | » | | |
| 0,05 | » | » | » | » | » | » | » | | |
| 0,25 | » | » | » | » | » | » | » | | |

| Silice. | Arcilla y cuarzo. | Agua y ácido carbónico. | Total. | Hierro en el ensayo. | Procedencia del análisis. | |
|---------|-------------------|-------------------------|--------|----------------------|--|--|
| 2,60 | » | 36,75 | 99,32 | 43,68 | Schichedentz. Idem. Idem. Idem. | |
| 0,08 | » | 35,78 | 100,88 | 44,80 | | |
| 7,60 | » | 29,71 | 100,28 | 41,35 | | |
| » | 7,30 | 16,30 | 99,20 | 50,00 | | |

| Cal. | Alúmina. | Barita. | Fósforo. | Procedencia del análisis. | |
|-------|----------|---------|----------|--------------------------------|--|
| 7,80 | » | 1,99 | 0,05 | Terre-Noire. Idem. Idem. | |
| 10,30 | 1,20 | » | 0,05 | | |
| 3,40 | 1,40 | » | 0,15 | | |

MENAS DE HIERRO

| PROCEDENCIA. | Oxido férico. | Silice. | Alúmina. | Cal. | Magnesia. | Man- ganeso. |
|-------------------------|------------------|---------|----------|-------|-----------|-----------------------|
| Villar (oligisto)..... | 82,20 | 1,00 | 0,80 | 0,90 | Vestigios | > |
| Doiras (hidróxido)..... | 84,00 | > | 0,50 | 0,40 | > | Vestigios |
| Is (carbonatado)..... | 65,60 | 0,50 | 0,30 | 0,40 | 4,60 | > |
| Is (hidróxido)..... | 73,16 | 10,00 | 0,50 | 2,80 | Vestigios | > |
| Isla (hidróxido)..... | 67,88 | 13,62 | 2,15 | 0,50 | Vestigios | > |
| Coaña (hidróxido)..... | 67,25 | 14,00 | 1,85 | | 1 | Vestigios |
| Coaña (hematites)..... | 75,90 | 12,10 | 2,20 | 0,30 | | Vestigios |
| Illano (hidróxido)..... | 84,85 | 0,70 | 1,44 | 0,15 | Vestigios | Vestigios |
| Artedo..... | 77,77 | 7,05 | 0,75 | 0,50 | | 1,58 ^{óxido} |
| Soto..... | 76,83 | 5,76 | 1,35 | 0,85 | | 4,30 ^{óxido} |
| Quirós..... | 79,54 | 14,00 | 1,60 | 0,62 | > | 0,80 |
| Idem..... | 74,40 | 16,20 | 2,50 | 2,50 | Vestigios | Vestigios |
| Llumeres..... | 76,33 | 16,30 | 3,10 | 1,90 | > | > |
| Fresnedo..... | 72,30 | 6,00 | 1,60 | 0,88 | Vestigios | Vestigios |
| Villamain..... | 60,80 | 28,40 | 3,40 | 3,60 | > | > |
| Boquerón..... | 50,86 | 32,98 | 6,00 | 0,88 | > | 0,20 |
| Escamplero..... | 53,50 | 35,07 | 6,50 | > | > | 0,25 |
| Piquete..... | 68,46 | 14,75 | 2,00 | > | > | > |
| Llanera..... | 72,00 | 10,00 | 4,00 | 0,80 | > | > |
| Villaperí..... | 48,00 | 41,00 | 5,00 | > | > | > |
| Avilés..... | 67,50 | 24,55 | 3,20 | 2,80 | > | > |
| Lorio..... | 96,00 | 2,30 | 0,20 | 0,30 | > | 0,35 |
| Grandota..... | 69,40 | 3,80 | 1,80 | 18,00 | > | Vestigios |
| Bayo..... | 85,00 | 2,45 | 1,10 | 6,50 | > | Vestigios |
| Brañes..... | 67,90 | 5,00 | 0,60 | 22,52 | > | Vestigios |

ASTURIANAS.

| Azufre. | Fósforo. | Acido fosfórico. | Cobre. | Pérdida por cal- cinación. | Total. | PROCEDENCIA DEL ANALISIS. |
|-----------|----------|---------------------|--------|----------------------------------|--------|--|
| » | » | » | » | 14,50 | 99,40 | De un artículo publicado en la <i>Gaceta Industrial</i> , en el número de 25 de Noviembre de 1880, por D. Luis Adaro. |
| » | » | » | » | 14,20 | 99,10 | |
| » | » | » | » | 28,30 | 99,70 | |
| » | » | Vestigios | » | 13,94 | 100,34 | |
| » | » | 2,88 | » | 13,57 | 100,60 | |
| » | » | 3,15 | » | 13,05 | 100,30 | |
| » | » | 0,60 | » | 9,50 | 100,60 | |
| » | » | 1,86 | » | 12,00 | 101,00 | |
| Vestigios | » | 0,30 | » | 12,00 | 99,95 | |
| » | » | 0,17 | » | 10,64 | 99,90 | |
| 0,70 | 0,48 | » | » | 2,86 | 100,60 | |
| 0,41 | 0,05 | » | » | 3,40 | 99,46 | |
| » | 0,16 | » | » | 2,30 | 100,09 | |
| 0,60 | 0,18 | » | » | 8,44 | 100,00 | |
| 0,18 | 0,72 | » | 0,20 | 2,50 | 100,00 | |
| » | 0,50 | » | 0,20 | 7,58 | 99,20 | |
| 0,26 | 0,16 | » | 0,22 | 3,60 | 99,56 | |
| » | 0,06 | » | 0,10 | 14,40 | 99,77 | |
| 0,10 | 0,10 | » | 0,20 | 11,20 | 98,40 | |
| 0,08 | 0,60 | » | 0,30 | 5,00 | 99,98 | |
| » | 8,15 | » | » | 2,20 | 100,00 | |
| 0,10 | » | » | » | 0,80 | 100,05 | |
| 0,26 | » | » | » | 6,50 | 99,76 | |
| Vestigios | » | » | » | 5,05 | 100,10 | |
| 0,12 | 0,24 | » | » | 3,50 | 99,88 | |

57. Preparación mecánica de las menas.—

Las menas de hierro que no pueden emplearse tal como salen de la mina, se someten á operaciones mecánicas muy sencillas para no elevar su precio.

Los minerales en roca, tales como el óxido magnético y la mayor parte de las hematites, cuando no son muy compactos y están puros, se emplean tal como salen de la mina, sin hacer otra cosa con ellos que partarlos con una maza ó por medio de *bocartes* y un apartado que se hace á mano, generalmente por mujeres. Las menas térreas y las de ganga arcillosa suelen exponerse un cierto tiempo al aire para que la acción atmosférica produzca en ellas una alteración conveniente para eliminar algunas de sus impurezas, particularmente las que contienen piritas, que de este modo se transformarán en parte en sulfatos solubles, después de lo cual se someten á una corriente de agua en aparatos especiales para deslodarlas y separar las sales solubles.

58. Deslodamiento.—Esta operación se efectúa á veces en artesas colocadas en cascada por las cuales se hace pasar una corriente de agua y en las que se lava el mineral removiéndolo por medio de palas y haciéndolo pasar sucesivamente desde la superior á la más baja.

La arcilla se deslíe en el agua y se marcha con ésta, así como también una porción de la ganga que se encuentre en estado pulverulento.

Generalmente el deslodamiento se efectúa mecánicamente en aparatos especiales, siendo el más comunmente usado el que los franceses llaman *patouillet*.

Las figuras 1.^a y 2.^a de la lámina primera representa un *patouillet* muy usado en el Mediodía de Francia.

Se compone de una gran artesa semicilíndrica de mampostería recubierta de plancha de palastro, cuyo fondo *ab* está ligeramente inclinado á fin de establecer una corriente en el agua que en ella se echa para lavar el mineral. Este, con una gran cantidad de agua, se hace entrar por la parte más elevada *b* de la artesa y es removido por las

barras de hierro *c* hechas firmes á las coronas *d*, que están fijadas á un árbol horizontal *ef* movido por una rueda hidráulica. A consecuencia de la inclinación que, como se vé en la figura, tienen las barras *c* sobre el eje, éstas, al mismo tiempo que remueven el mineral lo van arrastrando hacia la parte inferior y por último lo hacen caer, junto con el agua de lavado, en un recipiente más profundo que el fondo de la artesa dividido en dos partes *g* y *h* por medio de una rejilla ó tamiz de hierro, que detiene el mineral y deja pasar el agua con los lodos á la parte *h*, de donde se vierten al exterior. El mineral es recogido por unos canjilones *m*, que van en los extremos de los brazos de la rueda *n* montada sobre el mismo árbol del aparato, y arrojado sobre el vertedero *p*, que lo derrama limpio sobre el suelo.

59. Calcinación.—Las menas muy compactas, las que contienen elementos volátiles y sustancias extrañas susceptibles de desprenderse á una elevada temperatura, bien por la acción única del calor ó por su combinación con el oxígeno, deben calcinarse antes de ser tratadas en los hornos en que se han de reducir al estado metálico.

El objeto de la calcinación es expulsar los elementos volátiles que contiene el mineral, principalmente el agua y ácido carbónico ó simplemente disgregar la materia para que sea más permeable á los gases reductores en el momento de su tratamiento; pero como casi siempre esta operación se efectúa con un exceso de aire, si la mena contiene elementos oxidables habrá al mismo tiempo una *tostión* más ó menos completa, y en muchos casos este es el principal objeto de la operación.

La mayor parte de las magnetitas deben calcinarse, porque son muy compactas, é igual operación se hace con los hierrosespáticos y los carbonatados litóideos para hacer desprenderse su ácido carbónico, las materias bituminosas y el azufre que siempre contiene el segundo.

La *tostión* conviene y hasta es indispensable efectuarla con los minerales que contienen impurezas, que, como el azufre

y el arsénico, pueden formar productos gaseosos por su combinación con el oxígeno, ó sales solubles que pueden separarse por un lavado. Esta es la principal razón que hace que en Suecia se calcinen los minerales magnéticos.

Estos minerales son piritosos y por la acción combinada del calor y del aire una parte de los sulfuros se descompone convirtiéndose el azufre en ácido sulfuroso, que se desprende, y otra se transforma en sulfato.

En todos casos, como la calcinación es siempre oxidante, el resultado de ella, ya se hayan tratado óxidos magnéticos ó carbonatos, será siempre peróxido de hierro. De manera que puede decirse que el hierro se encuentra siempre en este estado al empezar el tratamiento de las menas.

Para que la calcinación esté bien hecha, es preciso operar con cierta lentitud, que la temperatura se eleve gradualmente, y que el calor sea suficiente para calcinar el mineral en todas sus partes sin llegar, empero, á provocar la fusión.

La calcinación se efectúa en montones ó pilas al aire libre ó en hornos á propósito.

60. Cuando no hay que temer las pérdidas de calor, ó lo que es lo mismo, consumo de combustible, por encontrarse éste mezclado con el mismo mineral, como sucede con el *black band* de los ingleses y algunas otras menas del terreno hullero, se emplea la calcinación en pilas. Estas se construyen sobre un área preparada al efecto, empedrada ó simplemente apisonada. Sobre ella se extiende una capa de ramaje seco ó de turba y encima se construye la pila, que es una pirámide truncada de base rectangular, de longitud indeterminada, de 5 á 10 metros de anchura y de 1 á 4 de alto, según el mineral sea más ó menos menudo.

Los trozos más gruesos se colocan en la parte inferior, dejando de cuando en cuando unos claros que permitan la entrada del aire, y encima se coloca el menudo, intercalando también algunas capas de hulla menuda cuando el mineral no contiene la cantidad suficiente de materias carbonosas.

Hecha la pila se le prende fuego y se entretiene y reparte

la combustión, hasta que todo esté calcinado, abriendo y cerrando los respiraderos que convenga.

Este método de calcinación es económico cuando se limita su empleo á minerales que necesitan poca adición de combustible; pero tiene el inconveniente de que es difícil poder arreglar la marcha de manera que la operación se efectúe con uniformidad en todas sus partes.

61. En mejores condiciones, que en montones al aire libre, se efectúa la calcinación de los minerales de hierro en hornos de reverbero ó en hornos de cuba análogos á los empleados en la cocción de la cal.

Estos últimos son los más comunmente empleados y pueden ser de varias especies. En la mayor parte de los hornos de cuba, destinados á la calcinación de las menas de hierro, se introducen éstas por la boca del horno en capas alternadas con el combustible. En otros, cuando la calidad de los combustibles puedan por su contacto perjudicar la calidad de las menas, la combustión se efectúa en un hogar especial de manera que el mineral no esté en contacto más que con las llamas y productos gaseosos de la combustión. Y por último, en otros, como sucede en varios puntos de Austria y sobre todo en Suecia, se emplean como combustible los mismos gases que se desprenden de los hornos en que se reducen las menas (aparatos á que se da el nombre de *hornos altos*); gases que, como veremos más adelante, son eminentemente combustibles.

Los más usados son, como hemos dicho, aquellos en que se introducen las menas juntamente con el combustible por la boca superior del horno. Estas materias se irán calentando á medida que descienden robando calor á los gases que suben, y el aire, que penetra por la parte inferior, irá enfriando á las materias que descienden al propio tiempo que él se calienta, habiendo una zona en que se verificará el máximo de temperatura. Las dimensiones del horno y las proporciones relativas de mena y carbón deben estar calculadas de manera que dicho máximo de temperatura sea solamente lo suficiente para producir el grado conveniente de calcinación y

de modo también que tanto las menas al llegar á la parte inferior del horno, como los gases que salen por la boca, conserven la menor temperatura posible, pues todo el calor que llevan es perdido. Las dimensiones y formas de estos hornos depende también de la naturaleza de las menas que en ellos se han de tratar y de otra multitud de circunstancias que las dimensiones de esta obra no nos permiten entrar á considerar, y así es que hay innumerables modelos. Como ejemplo daremos á conocer, tomándolo de Gruner (1), el enorme horno de *Ayresome*, en el *Cleveland*. (Lámina primera, fig. 3.^o)

Este horno, de 227 metros cúbicos de capacidad y 10 de altura, está sostenido por las ocho columnas de fundición *a*. Una corona, también de fundición, reúne las ocho columnas y recibe directamente la pared de ladrillos, que está revestida y consolidada exteriormente por una envuelta de chapa de hierro. El aire afluente no sólo por el contorno inferior, sino también por el cono central *b*, que tiene por objeto hacer caer las menas calcinadas hacia la circunferencia. Gracias á este cono, la calcinación no es desigual, á pesar de lo exagerado del diámetro, que es de 8 metros. Alrededor del horno hay varias aberturas *c, c, c*, para vigilar su marcha y remover, si es preciso, las materias por medio de *hurgones*. Este horno puede calcinar diariamente 115 toneladas de mineral con un consumo de combustible de un 4 por 100.

62. Mezcla de menas diferentes.—Generalmente en el horno alto no se trata á la vez una misma especie de menas, sino que se mezclan varias de naturaleza diversa. Estas mezclas tienen por objeto mejorar la calidad de los productos, aprovechar minerales que de otro modo no podrían servir como menas, y también disminuir los gastos de fabricación.

Supongamos, por ejemplo, que tengamos dos especies de minerales, uno cuya ganga sea arcillosa y el otro que la tenga calcárea. Si se tratan separadamente estos dos minerales,

(1) *Traité de Metallurgie*, par M. L. Gruner.

al primero, como veremos en el artículo siguiente, habría que añadirle caliza y al segundo arcilla; mientras que mezclándolos en las proporciones convenientes, podrían tratarse sin adición de sustancias extrañas, y siendo, por consiguiente, menor la cantidad de materias que deben fundirse, se realizará una economía de combustible.

Esta preparación permite también utilizar ciertos minerales demasiado pobres para ser tratados directamente en el horno alto. Empleándolos como fundentes, el hierro que contienen se añade al de la mena que se trata y el rendimiento de ésta será por lo tanto mayor.

La mezcla de las menas permite también sacar partido de minerales demasiado impuros para ser tratados directamente. Supongamos por ejemplo que tengamos un mineral muy fosforoso que dé por su tratamiento un hierro que contenga 0,70 por 100 de fósforo. Este hierro será muy frágil y no tendrá aplicación; pero si mezclamos este mineral con otro que no sea fosforoso, en tales proporciones que cada uno dé la misma cantidad de hierro, obtendremos un producto que sólo contendrá 0,35 por 100 de fósforo y aunque no de buena calidad, será un hierro de comercio.

Pueden también obtenerse productos aceptables, mezclando dos minerales, que separadamente darían hierros muy malos. Si tenemos dos minerales, uno que dé un hierro que contenga 0,7 por 100 de fósforo y el otro un hierro con 0,20 por 100 de azufre, los dos productos serán malos, pues el primero será muy frágil en frío y el segundo no podrá trabajarse en caliente. Mezclándolos en proporciones equivalentes se tendrá un producto que no contendrá más que 0,35 por 100 de fósforo y 0,10 por 100 de azufre. Este metal podrá trabajarse en caliente, aunque será un poco agrio, y tendrá una tenacidad suficiente.

El resultado obtenido en este último caso será todavía más favorable de lo que acabamos de indicar, porque la presencia del fósforo favorece la eliminación del azufre. El fósforo desaloja, en efecto, una parte del carbono contenido en la fundi-

ción y este carbono, encontrándose en estado naciente, se combinará con una parte del azufre que de este modo se elimina en forma de sulfuro de carbono CS^2 .

Las mezclas de las menas se ejecutan en el momento de ser introducidas en el horno alto.

Art.º 2.º—Fundentes.

63. Objeto de los fundentes.—Si las menas de hierro no contuvieran más que este metal en estado de óxido, sin mezcla de ninguna otra sustancia, se comprende perfectamente que se le podría obtener sin más que reducir dicho óxido. Pero por muy rica que sea la mena, contiene siempre cierta cantidad de ganga, de que no es posible despojarla por completo con las simples operaciones mecánicas á que se somete, y por consiguiente el hierro reducido tendría sus moléculas separadas unas de otras por la interposición de dicha ganga, y el producto no presentaría ninguna de las buenas cualidades que debe poseer. Es preciso, pues, buscar un medio para eliminar dicha ganga, de manera que las moléculas del hierro puedan reunirse unas á otras y formar una masa homogénea.

La manera más sencilla de conseguir esto, es determinar su fusión. De este modo, si lo que se trata de obtener es hierro colado, éste, cuando esté en estado líquido, se separará de la ganga fundida á causa de su diferente densidad; y si se trata de obtener hierro dulce ó acero en estado sólido, sus partículas formarán una masa esponjosa empapada de la ganga fundida, y ésta podrá entonces ser expulsada por compresión.

La fusión de la ganga se consigue por la adición de ciertas sustancias que forman con ella compuestos más ó menos fusibles, sustancias á las cuales se da por esta razón el nombre de *fundentes*.

64. Materias empleadas como fundentes.—

La sustancia que debe escogerse como fundente, depende naturalmente de la composición de la ganga.

Generalmente todas las gangas contienen sílice, algunas veces en forma de cuarzo y otras en combinación constituyendo arcilla; y como dicho ácido, se combina á una elevada temperatura con todas las bases formando silicatos más ó menos fusibles, se conseguirá el objeto que se desea formando una mezcla de sílice y de bases en la proporción conveniente para obtener un silicato con el grado de fusibilidad que sea necesario.

En vista de esto, para determinar el fundente que conviene en cada caso, se necesita conocer el grado de fusibilidad de los silicatos para formar con los elementos que contiene la ganga el que sea conveniente á la operación que se trata de ejecutar.

Vamos, pues, á examinar ligeramente los silicatos bajo el punto de vista de su fusibilidad.

1.º Los silicatos formados por bases fusibles, como los alcalis, entran en fusión á una temperatura tanto más baja cuanto más fusible es la base.

2.º Las bases infusibles forman silicatos poco fusibles, y su máximo de fusibilidad corresponde á cierta composición *media*, que es más fusible que los compuestos que tienen sobre ella un exceso de sílice ó de base.

Esta composición *media* es diferente para los silicatos formados por diversas bases.

El silicato más fusible entre los de base de *cal*, es el que corresponde á la fórmula CaO, SiO^2 .

Entre los de *magnesia*, ménos fusibles que los de *cal*, el más fusible es el que tiene por fórmula $3MgO, SiO^2$ aun cuando este silicato no hace más que ablandarse en los hornos de porcelana.

Los de *alúmina*, son casi infusibles, pues resisten á la temperatura de fusión del hierro, pudiendo, sin embargo, considerar como más fusible el que tiene por fórmula $Al^2O^3, 2SiO^2$.

3.º Los silicatos formados por dos ó más bases, son más fusibles que los simples formados con las mismas bases. Así, los silicatos simples de cal, magnesia ó alúmina, son mucho menos fusibles que los silicatos dobles de cal y magnesia, de cal y alúmina, y que los triples de cal, magnesia y alúmina.

Entre los silicatos dobles de cal y alúmina, el más fusible es aquel en que el oxígeno del ácido es doble del de las dos bases, estando la cal en exceso. Corresponde á la fórmula $3CaO, Al^2O^3, 4SiO^3$.

Entre los de base de cal y magnesia, los más fusibles corresponden á la fórmula $2CaO, MgO, 2SiO^3$.

Para convertir, pues, la ganga en un silicato fusible deberán añadirse los elementos necesarios para formar un silicato múltiple. Cuando la ganga sea arcillosa, que es lo más común, bastará agregar una sola base; y la que en este caso se emplea con preferencia, á causa principalmente de su bajo precio, es la cal en forma de piedra caliza, á que se da el nombre de *castina*. Si, por el contrario, la ganga es caliza, se empleará como fundente la arcilla. En el caso que la ganga sea únicamente silíceá, deberán añadirse por lo menos dos bases para formar un silicato fusible, siendo el fundente más conveniente en este caso la *dolomía* (mineral compuesto especialmente de carbonatos de cal y magnesia). En algunas operaciones metalúrgicas, sirve de fundente el mismo óxido de hierro, ya sea de las menas que se están tratando ó procedentes de otras operaciones. Por último, en ciertos casos conviene también hacer adiciones de *espato fluor* que favorece la fusión y fluidez de la masa, y hace desprender una parte del silicio bajo forma de fluoruro de silicio.

A los silicatos que resultan de la fusión de las gangas y fundentes se les da el nombre de *escorias*, nombre que los franceses aplican únicamente á los de base de hierro, distinguiendo con el nombre de *laitiers* aquellos en que predominan las bases térreas.

65. Proporción en que deben emplearse los

fundentes.—Si se tratase únicamente de economizar combustible debería procurarse formar el silicato más fusible; pero de esta manera, mientras existiese ganga sin fundir, la temperatura del aparato en que se efectúa la reducción del mineral no podría elevarse sobre la temperatura de fusión de la escoria, y esta temperatura podría no ser la suficiente para llevar á cabo la operación metalúrgica que se trata de efectuar. Por consiguiente, en general, la composición de la escoria deberá determinarse de manera que su punto de fusión no sea inferior á la temperatura que debe producirse en el horno.

Las escorias más comunes son los silicatos dobles de cal y alúmina, silicatos cuya fusibilidad es muy variable. El más fusible (64) es el que tiene por fórmula $3CaO, Al^2O^3, 4SiO^3$.

Si se aumenta la proporción de sílice ó de cal, el silicato será menos fusible. Se podrá, pues, disminuir la fusibilidad de la escoria aumentando la proporción de la sílice ó la de la cal. Pero si la sílice está en exceso se combinará con parte del óxido de hierro que no se haya reducido y se disminuirá el rendimiento; convendrá, por lo tanto, graduar la temperatura de fusión de la escoria con la proporción de castina.

Es conveniente, además, que la cal esté en exceso, pues favorece, según se ha observado, la eliminación de parte del azufre, que bajo forma de sulfuros de calcio, de manganeso, de bario, etc., suele encontrarse en las escorias que tienen exceso de cal.

Es preciso tener también en cuenta para determinar la proporción de los fundentes que, además de las bases terrosas, se combinan también con la sílice algunas cantidades de óxidos de hierro y de manganeso, como asimismo una cierta proporción de potasa ó sosa procedente muy especialmente de las cenizas de los combustibles que, aunque en pequeñas dosis, aumenta notablemente la fusibilidad de las escorias.

Artículo 3.º—Combustibles.

66. El principal agente en las operaciones siderúrgicas es el calor. Este se obtiene siempre por el empleo de sustancias que por su combinación con el oxígeno del aire pueden desarrollarlo en cantidad suficiente, sustancias á que se da el nombre de combustibles.

Los combustibles son muy numerosos; pero, aparte de algunos metálicos y metalóideos, como el silicio, el hierro y fósforo empleados en algunos tratamientos, los casi exclusivamente usados en la industria del hierro son los productos vegetales, de origen antiguo ó moderno, en cuya constitución entra como elemento principal el carbono, el cual, al mismo tiempo, hace en la siderurgia el importante papel de agente reductor.

Según su estado pueden clasificarse los combustibles en *sólidos, líquidos y gaseosos*.

Se clasifican también en *naturales y artificiales*, según que se empleen en el estado natural ó después de haber sufrido un tratamiento preliminar que los haya modificado más ó menos profundamente.

Por último, teniendo en cuenta la época de su formación, se dividen en *vegetales y minerales*, llamando vegetales á los que se desarrollan actualmente, y minerales á los que se encuentran en el seno de la tierra procedentes de la descomposición de vegetales que dejaron de existir en épocas más ó ménos remotas.

Nosotros, considerando el origen vegetal de todos ellos, los describiremos por orden de antigüedad, empezando por el más moderno, la *leña*, y continuando con la *turba, lignito, hulla y antracita*, ocupándonos al propio tiempo de los combustibles artificiales que se obtienen con cada uno de ellos.

67. Leña.—La madera es la parte de los vegetales llamada botánicamente *leñoso*, constituido por la *celulosa*,

que es común á toda especie de maderas, y la materia incrustante que llena las células, variable de unas á otras. Los elementos principales del *leñoso* son el carbono, hidrógeno y oxígeno. Además contiene una cantidad variable de agua higrométrica, algunas sustancias vegetales, como las resinas, y otras minerales, principalmente alcalinas.

Se califican con el nombre de *leña* las partes de los vegetales usadas como combustibles, que son generalmente las que no pueden emplearse como *madera* de construcción; es decir, las ramas, raíces y algunas partes del tronco.

68. La composición de la leña es muy variable; sin embargo, después de privada de su agua higrométrica por una desecación á 140°, puede admitirse como término medio la siguiente composición determinada por Peclet.

| | |
|----------------|----|
| Carbono..... | 50 |
| Hidrógeno..... | 6 |
| Oxígeno..... | 41 |
| Azoe..... | 1 |
| Ceniza..... | 2 |

100

La cantidad de agua higrométrica es muy diferente en las diversas especies de maderas y aun en las de la misma especie es variable según su estado de desarrollo, y varía además en las distintas épocas del año, siendo generalmente menor en los meses de Diciembre y Enero, cuando el movimiento de la savia está paralizado, variando en este caso desde un 25 á 50 por 100.

69. El agua que contiene la leña, disminuye el poder calorífico á causa del calor empleado en su vaporización, calor que varía desde 150 á 200 calorías; por lo tanto, es conveniente emplearla lo más seca posible, verificando su corta en invierno, y almacenándola en parajes donde pueda secarse.

Las leñas se clasifican en densas y ligeras, perteneciendo á la primera clase la encina, haya, fresno, roble, olivo y otras varias, y á la segunda el álamo y casi todas las coníferas.

La leña en estado natural no tiene muchas aplicaciones en los establecimientos siderúrgicos. Se emplea para encender algunos aparatos y para desecar otros, cuando no puede hacerse esta operación con otro combustible ménos inflamable.

70. Torrefacción de la leña.—Como el agua higrométrica disminuye la potencia calorífica de la leña hasta tal punto que con 20 por 100 de agua no puede desarrollar más de 3200 calorías por kilógramo, mientras que completamente seca puede llegar á 4000, para ciertas operaciones en que la temperatura desarrollada por la leña natural es insuficiente, se hace preciso despojarla de su humedad sometiénola á una torrefacción á una temperatura comprendida entre 200 y 250°.

La torrefacción de la leña puede efectuarse por diversos medios. En algunas ferrerías en que usan este combustible para la alimentación de los hornos altos en que se reducen las menas, la tuestan por medio de los gases calientes que se desprenden del mismo horno. Una de la disposiciones empleadas consiste en colocar en la boca del horno una chimenea de 1^m,5 á 2 metros de altura dividida en tres espacios iguales por dos parrillas giratorias. La leña partida en astillas se carga en el espacio superior, donde se tiene un par de horas; al cabo de este tiempo, haciendo girar la parrilla, se deja caer al espacio intermedio y al fin de otro par de horas se descarga la leña tostada en el horno.

71. Carbón vegetal.—A una temperatura de 300° la leña, además del agua higrométrica, pierde la mayor parte de sus productos volátiles y el residuo, que se llama *carbón vegetal*, está compuesto casi exclusivamente de carbono y cenizas.

Aunque se haya obtenido á una elevada temperatura, retiene siempre oxígeno é hidrógeno. Según M. Violette, la

madera carbonizada á 430°, conserva 2 por 100 de hidrógeno y 15 por 100 de oxígeno. La proporción de cenizas es por término medio de 2 á 3 por 100.

Es muy higrométrico, pudiendo absorber cuando está conservado en sitios húmedos hasta un 12 por 100 de agua.

Las propiedades del carbón están en relación con las de las maderas de que provienen, y con la temperatura y duración de la carbonización. Los que proceden de vegetales jóvenes y maderas ligeras, son menos densos, más inflamables y quebradizos que los procedentes de maderas densas, y la inflamabilidad disminuye á medida que ha sido mayor la temperatura á que se ha obtenido.

72. El carbón puede prepararse por dos métodos distintos.

1.º En *cinas* ó *montones* calentados por la combustión de una parte de la misma masa.

Y 2.º En vasos cerrados calentados exteriormente.

El primer método es el más generalizado á causa principalmente de su sencillez.

La primera operación en todo sistema de carboneo, es la corta de la leña. Esta debe efectuarse cuando los árboles hayan adquirido todo su desarrollo, á los 20 ó 25 años, pues la cantidad de carbono aumenta hasta esa edad, disminuyendo después. También debe efectuarse á fines de otoño ó á principios de invierno, cuando la savia esté paralizada, y conviene dejarlos de un año para otro para que se desequen.

Toda la leña que se ha de carbonizar se prepara en trozos de dimensiones próximamente iguales, dándose á los que se carbonizan en montones una longitud de 60 á 70 centímetros.

En la carbonización en montones se establece la *carbonera* en el mismo monte donde se ha hecho la corta ó en un sitio próximo al abrigo del aire y cuyo piso sea llano, firme y seco. Es conveniente que el lugar donde se ha de formar la cima ó montón haya servido ya otras veces, porque entonces se encontrará impregnado de algunos productos de la destilación de la madera y el rendimiento será mayor.

Escogido el sitio, se iguala y apisona el terreno, se traza en él un círculo de 4 á 12 metros de diámetro y alrededor se forma una zanja para recoger las aguas. En el centro se clavan verticalmente tres ó cuatro estacones de una longitud igual á la altura que ha de tener el montón, dejando entre sí un espacio de unos 30 centímetros. Alrededor de estos estacones, que han de formar la chimenea, se van apoyando de pié los trozos de leña hasta formar un primer lecho de toda la extensión del círculo de la base (Lámina I, fig. 4.^a); los trozos más gruesos se colocan hacia el centro y los huecos grandes se rellenan con ramaje y cisco de otras operaciones. Sobre el primer lecho se coloca otro en la misma disposición, y por último se concluye el montón cubriéndole con otro lecho formado con los leños acostados en la dirección de los radios.

Todo el montón se cubre con hojas secas y cisco, y luégo con tepes con la hierba hacia adentro y con tierra que se apisona bién, dejando solamente descubierto el extremo de la chimenea y varios huecos ó ventosas alrededor de la base para dar acceso al aire.

Para encenderlo se introducen por la chimenea algunas ascuas y ramaje seco y menudo, que se va reemplazando á medida que se consume. Empieza á salir humo por la chimenea y varios puntos de la cima, y cuando se levanta llama se tapa la chimenea con tepes y se aguarda algunas horas. Entónces comienza á desprenderse un poco de humo blanco, sobre todo de la parte superior, que se va hundiendo. Se abren unos respiraderos por la parte superior y por ellos sale una gran cantidad de humo, muy abundante y espeso al principio y después más transparente y de un color azulado. Cuando esto sucede, se tapan estos respiraderos y se abren otros más abajo, continuando del mismo modo hasta llegar á la base del montón. Por otra parte, el carbonero debe vigilar constantemente la marcha de la operación, tapando con tierra los sitios en que la carbonización ha terminado, y abriendo respiraderos para activar el fuego en los sitios donde no avance como es debido.

La operación puede darse por concluída cuando toda la cubierta aparece incandescente. Entonces se cubre todo el montón con tierra húmeda para ahogar el fuego. Algunas horas después se vuelve á echar más tierra y se aguarda á que el carbón se haya apagado completamente, lo cual suele tener lugar á las veinticuatro horas próximamente, y entonces se deshace el montón y se separan los tizos.

La carbonización de la leña puede también efectuarse en fosas y en hornos, y la manera de conducir la operación puede reasumirse en cuatro palabras. Cargado el horno de leña y encendida ésta, se dejará continuar la combustión hasta que por el aspecto de los humos que se desprenden por la chimenea se comprenda que han sido expulsados los elementos volátiles, en cuyo momento se interrumpirá toda comunicación con el aire exterior hasta que se haya enfriado el carbón obtenido.

La carbonización en montones da un rendimiento de carbón que por término medio no suele exceder de 20 á 22 por 100. Es económico bajo el punto de vista de no necesitarse aparatos especiales y de que disminuye los transportes, puesto que la operación puede, por regla general, efectuarse cerca de donde se ha verificado la corta de la leña.

73. En la carbonización en vasos cerrados, ó destilación de la madera, se obtiene casi todo el carbón que contiene la leña, y tiene además la ventaja de poderse recoger los productos volátiles líquidos, como el alquitrán y ácido acético; pero en este método de fabricación el carbón resulta menos denso, lo cual es un inconveniente para la mayor parte de las aplicaciones que puede tener en metalurgia.

La operación está reducida á calentar la leña á temperaturas superiores á 300° y variables según la calidad que se desee obtener, en recipientes de fundición ó palastro completamente cerrados, si se esceptúa un conducto por donde se desprenden los productos volátiles. Estos se hacen pasar por un refrigerante, donde se condensan los líquidos; y los

gaseosos, ó bién se dejan escapar por la chimenea, ó bién se hacen pasar al hogar para servir de combustible.

En algunos establecimientos se practica la destilación en cilindros de palastro calentados por los gases del mismo horno alto en que ha de emplearse el carbón.

74. Según Pelet el poder calorífico del carbón ordinario, con 6 á 7 por 100 de agua y otro tanto de cenizas, es de 7000 calorías por kilogramo.

Los carbones procedentes de maderas ligeras, que son poco densos y quebradizos, tienen poca aplicación en los hornos altos, pues se deshacen con facilidad por el mismo peso de la carga y dificultan el paso de los gases. Para este uso convienen mejor los carbones densos. Por el contrario, en el tratamiento para hierro dulce ó acero, ya sea directamente del mineral, ó por afino de la fundición, convienen mejor los carbones ligeros, cuyas cenizas son alcalinas y hacen la escoria más fusible, que los carbones procedentes de maderas densas, cuyas cenizas son silíceas.

75. Turba.—La turba se clasifica por unos entre los combustibles vegetales y por otros entre los minerales; resulta de la descomposición por efecto del calor y de la humedad de ciertas plantas anuales de organización sencilla, pertenecientes en su mayoría á las familias de los helechos y licopodios; aunque no es raro encontrar en las turberas restos de vegetales superiores.

Se la encuentra en los climas templados en sitios bajos y pantanosos, en las riberas de los ríos de poca corriente y también en las altas mesetas de las montañas cuando su suelo se compone de arenisca ú otra roca poco permeable.

Es de color pardo más ó menos oscuro. Puede ser *compacta*, de fractura térrea ó resinosa, ó bién *fibrosa*, parecida al fieltro, es decir, formada de un tejido de fibras y otros restos vegetales.

Arde lentamente, produciendo un humo de olor muy desagradable y con llama más corta que la leña. Como es muy

porosa y contiene mucha agua, desarrolla una temperatura poco elevada y su poder calorífico es muy pequeño.

Para mejorar su calidad es preciso desecarla; lo cual se efectúa cortándola en forma de ladrillos, que se dejan orear al aire, de cuya manera pueden perder hasta un 50 por 100 de agua.

Desecada en hornos y comprimida en forma de ladrillos, hasta reducirla á la mitad de su volumen, puede sustituir á la hulla en los hornos de reverbero para el afino del hierro y al carbón en los hornos altos; pero, como aun en este estado es muy higroscópica, es preciso irla empleando caliente á medida que se va desecando.

En fin, cuando se quieran obtener ladrillos de turba más puros y densos, debe molerse en un molino, para separar las partes terrosas, y moldearla en forma de ladrillos que se dejan secar primero al aire, y luégo en estufas.

Todas las turbas contienen una gran cantidad de légamo y materias terrosas, que hacen que sus cenizas sean muy abundantes; y además contienen generalmente piritas de hierro, sulfato de cal y fosfatos de hierros ó de cal. Por la combustión se transforman estas sustancias en óxidos de hierro, sulfatos y fosfatos de cal, en cuyo caso la turba es un combustible impuro y de difícil empleo en las operaciones metalúrgicas.

Cuando por la desecación se ha reducido á no contener más de 30 por 100 de agua, su poder calorífico puede estimarse en 3700 calorías.

76. La turba puede carbonizarse, como la leña, y da un carbón cuyas propiedades dependen de las que tiene la turba de que procede. Su poder calorífico es próximamente igual al del carbón vegetal; pero generalmente es muy impuro; á pesar de lo cual, en algunos puntos de Alemania suelen mezclarlos para alimentar los hornos altos y las forjas de afino.

77. Las turberas se encuentran muy repartidas por toda Europa, siendo en Holanda donde se encuentra con más abundancia.

En España se explota la turba en los Alfaques y existen también turberas en el país pantanoso que se extiende entre Torreblanca y Oropesa, en Almenara (Castellon), en Chozas de la Sierra (Madrid) y en varios puntos de Asturias, particularmente en la parte arenisca de la Sierra de Tineo.

78. Lignito.—El lignito es un combustible intermedio entre la turba y la hulla. Conserva todavía su aspecto orgánico (algunas variedades muy marcadas), pero ha adquirido ya más propiedades minerales que la turba.

Las principales variedades, son los *lignitos comunes* y los *térreos*.

El lignito común es de un color pardo oscuro ó negro, duro y de fractura concóidea; cuando es muy compacto y lustruso, recibe el nombre de *azabache*. Arde con una llama fuliginosa esparciendo un olor muy desagradable y característico, y su ceniza es semejante á la del carbón vegetal.

Contiene de 40 á 50 por 100 de carbono, otro tanto próximamente de elementos volátiles, y una proporción de cenizas variable entre 5 y 16 por 100. Su poder calorífico, se calcula de 4500 á 6400 calorías.

Los lignitos térreos, entre los que se encuentra el producto conocido con el nombre de *tierra de sombra* ó de *Colonia*, son generalmente pardos, de fractura mate y contienen muchas cenizas y una gran proporción de piritas de hierro.

Por la destilación dan un carbón pulverulento, del que no puede sacarse mucho partido.

El lignito es de difícil aplicación á los trabajos metalúrgicos.

Los lignitos son abundantísimos en España. Se encuentran y explotan en bastante cantidad en Alcoy. Existen en varios puntos de las provincias de Castellón y Teruel, en la de Valencia, en Berga y otras varias localidades de Cataluña, en Benisalén y Alcudia (provincia de Mallorca), en las provincias de Cuenca y Guadalajara y en Asturias.

79. Hulla.—Las hullas son los combustibles minerales que se encuentran en los terrenos de transición. Se dis-

tinguen de los lignitos por un color más oscuro, mayor densidad y fragilidad, menor dureza y en que por destilación dan un residuo carbonoso más abundante, con bastante dureza y brillo, á que se da el nombre de *cok*. El agua que proviene de la destilación, es amoniacal en vez de contener ácido acético, como la que procede del lignito. Al arder no producen el olor desagradable de los lignitos.

Todas las hullas contienen cierta proporción de agua interpuesta, proporción que puede llegar á 15 ó 20 por 100 en las hullas menudas expuestas á la lluvia.

La hulla contiene casi siempre azufre, generalmente en estado de piritita de hierro. Por la destilación, una parte se desprende en estado de hidrógeno sulfurado, y otra en el de bisulfuro de carbono; pero queda siempre alguna cantidad en el *cok*.

Al quemar la hulla, la piritita se transforma en sesquióxido de hierro, que da á las cenizas un color rojo. La intensidad de la coloración es un indicio de la proporción de azufre que la hulla contiene en estado de piritita.

80. Clasificación de las hullas.—La clasificación más generalmente adoptada para las hullas, es la siguiente:

- 1.º Hullas secas de llama larga.
- 2.º Hullas grasas de llama larga.
- 3.º Hullas grasas ordinarias ó de fragua.
- 4.º Hullas grasas de llama corta.
- 5.º Hullas secas de llama corta ó antracitosas.

Esta clasificación está fundada en algunas propiedades características de las diferentes variedades de hulla y en la relación que existe entre el carbono y materias volátiles que contienen; relación que va aumentando, como así mismo el poder calorífico, desde la primera á la última clase. Las diferentes clases están además ordenadas por su edad geológica, siendo las más modernas las secas de llama larga y las más antiguas las secas antracitosas.

81. Hullas secas de llama larga.—Estas hullas,

las más modernas del período hullero, por lo cual pueden llegar á confundirse con los lignitos, son, como ellos, duras y compactas, aunque de poca densidad; y, según indica su nombre, arden con mucha llama, produciendo al mismo tiempo mucho humo y gases. Son de color negro poco intenso, su polvo es parduzco y su fractura es generalmente concóidea más ó menos astillosa.

Por la destilación producen de 48 á 56 por 100 de un cok que no se aglutina; pero que conserva, aunque grietado, la forma de los trozos de hulla que le han dado origen. Este cok es muy poco coherente, y por lo tanto de mal empleo para usos metalúrgicos.

El poder calorífico de las hullas secas de llama larga, prescindiendo de las cenizas, se calcula, por término medio, en 8300 calorías; pero en la práctica es raro el poder des-arrollar arriba de 4400.

Estas hullas se emplean en los hogares de parrilla.

82. Hullas grasas de llama larga.—Son también duras y tenaces como las anteriores, aunque en menor grado, más negras y brillantes, arden igualmente con llama larga y producen muchos gases, que siendo más carbonados que los de las hullas secas, las hacen muy á propósito para la fabricación del gas del alumbrado.

En la destilación dejan de 60 á 68 por 100 de un cok aglutinado, en lo cual difieren también del tipo precedente.

El poder calorífico teórico de estas hullas, está comprendido entre 8500 y 8800 calorías. En la práctica no es fácil obtener más de 4700.

Estas hullas se usan en los hornos de reverbero. El cok se emplea poco en metalurgia, porque es muy ligero y poroso y en menor cantidad que el que producen las dos clases siguientes.

83. Hullas grasas ordinarias ó de fragua.—Son negras y brillantes, poco duras y con poca cohesión. Arden con una llama menos larga y fuliginosa que las precedentes, pero más viva.

Por la acción del calor se aglutinan unos pedazos á otros, lo cual les hace muy á propósito para su empleo en las fraguas, por que forman alrededor de las piezas de hierro, que en ellas se calientan, una especie de bóveda que las preserva de la acción oxidante del aire.

Producen por la destilación de 68 á 74 por 100 de un cok denso, tenaz, aunque muy esponjoso, que puede usarse en los hornos altos.

Estas hullas consideradas puras, sin cenizas ni agua, tendrían un poder calorífico de 8800 á 9300 calorías. En la práctica desarrollan 5500 por término medio.

84. Hullas grasas de llama corta.—Contienen muy pocos elementos volátiles; presentan una textura muy parecida á la de la clase precedente; pero generalmente tiene menos brillo y á veces se presentan estriadas con rayas alternativamente brillantes y mates. Son un poco más densas que las anteriores y muy deleznable. Arden con dificultad en las parrillas de los hogares y con muy poca llama.

El cok que resulta de su destilación es duro, compacto y denso, y en una proporción que varía de 74 á 82 por 100 si se efectúa la coquificación cuando la hulla está recién sacada de la mina, pues si se la deja algún tiempo á la intemperie, pierde la propiedad de aglomerarse.

Su poder calorífico práctico, es por término medio de unas 6000 calorías.

La principal aplicación de esta clase de hullas, es la fabricación del cok.

85. Hullas secas antracitosas.—Son las más antiguas del terreno hullero, de un color negro con algunas estrias mates; son muy densas y poco coherentes. Se inflaman con mucha dificultad y arden con una llama corta, sin humo y de poca duración. Suelen decrepitar en el fuego, lo cual dificulta su empleo.

Producen de 82 á 90 por 100 de cok; pero un cok sin aglutinar y hasta pulverulento.

Según dos experiencias ejecutadas por M. Scheurer-Kest-

ner con hullas secas del Creusot, su poder calorífico está comprendido entre 9200 y 9500 calorías; pero la dificultad de quemarlas en parrillas hace que en la práctica sea inferior al que desarrollan las grasas de llama corta.

En el País de Galles suelen emplear estas hullas en los hornos altos.

86. Las diferentes clases de hullas que hemos mencionado, se encuentran en abundancia en nuestra Península. Hay criaderos en Asturias (Langreo, Siero, Oloniego, valles de Mieres, Turón, San Juan, Aller, Villar, Samuño y otros varios que sería largo citar); en Palencia y León (Cuencas de Orbó y Sabero); en Córdoba (Espiel y Belmez, muy abundante); en Extremadura (Canta el Gallo y Fuente del Arco); en Cataluña (Ogana, Surroca y San Juan de las Abadesas); en Sevilla (Villanueva del Río); en Puertollano y otras muchas localidades.

87. Preparación mecánica de las hullas.—

El carbón *todo uno*, tal como sale de la mina, tiene aplicaciones muy limitadas. Con trozos muy gruesos, se encuentran mezclados menudos y polvos, y una gran cantidad de sustancias extrañas, como esquistos, arcillas, piritas, carbonato y sulfato de cal, que conviene separar.

Si toda la hulla no ha de someterse á la depuración, se separan á mano los trozos más gruesos, echando á un lado al mismo tiempo las piedras; y los pedazos más chicos que excedan de 3 centímetros se separan en dos ó tres clases por medio de rastros cuyas puntas tengan la conveniente separación. El resto se clasifica, por medio de cribas, en dos ó tres suertes, de manera que en la más fina, los trozos más gruesos sean menores de un centímetro y en la cual se encontrarán la tierra y demás cuerpos friables.

Quando la hulla se destina casi exclusivamente á la fabricación del cok y se necesiten más menudos que los que dé naturalmente el *todo uno*, se hace preciso triturarla, lo cual suele efectuarse por medio de dos cilindros de fundición acanalados.

La depuración de las hullas se efectúa por medio de lavados y está fundada en la diferente densidad que tienen el carbón, pizarras, piritas y materias térreas que componen el carbon que se saca de la mina. Poniendo todas estas materias en suspensión en el agua, cada una de ellas se depositará según su densidad, y el carbón, como más ligero, quedará en la superficie y será fácil separarlo.

Este lavado puede efectuarse á brazo en varios estanques correlativos, ó mecánicamente en aparatos más ó menos perfeccionados, que no describiremos por no permitirlo los límites de esta obra, y porque más bién corresponden á un curso de metalurgia general.

88. Cok.—Ya hemos dicho (**81, 82, 83, 84 y 85**) que sometidas á la destilación las hullas dejan por residuo un carbón duro, brillante, de color gris metálico, á que se da el nombre de cok, el cual presenta diferente aspecto y consistencia, según la naturaleza de la hulla que le ha dado origen, siendo los más á propósito para las operaciones metalúrgicas los que proceden de las hullas grasas, sobre todo de las de llama corta.

El cok retiene siempre por término medio un 3 por 100 de elementos gaseosos. La proporción de cenizas varía desde un 5 hasta un 20 por 100.

La composición media del cok es la siguiente:

| | |
|-------------------------|----|
| Carbono..... | 80 |
| Materias volátiles..... | 3 |
| Agua..... | 5 |
| Cenizas..... | 12 |

El cok se enciende con más dificultad y es menos combustible que el carbón vegetal; pero á causa de su mayor densidad desarrolla una temperatura local mucho más elevada.

Su poder calorífico con 15 por 100 de cenizas se calcula en 6800 calorías.

La coquificación da lugar á una pérdida de combustible, y por consiguiente, cuando pueda hacerse sin inconveniente,

deberá emplearse la hulla. Pero, por una parte, la intensidad calorífica del cok es superior á la de la hulla, y, por otra, el cok contiene menos azufre y conviene, por lo tanto, mejor que la hulla para muchas operaciones, particularmente para el tratamiento de las menas de hierro en los hornos altos. Además, en estos aparatos, si se empleara la hulla natural, ésta se carbonizaría ántes de llegar á la zona en que debe arder, y por consiguiente, habria la misma pérdida de gases combustibles que en la coquificación, gases que arderían en la parte superior del horno perjudicando su marcha, y el cok resultante sería muy malo y en pequeña cantidad.

89. Diversos procedimientos de coquificación.—El cok puede fabricarse por tres diferentes métodos:

Destilación en vasos cerrados.

Combustión en montones.

Combustión en hornos.

La destilación en vasos cerrados no se emplea más que en la fabricación del gas del alumbrado. A causa de efectuarse la destilación con mucha actividad, el cok que resulta es muy ligero y friable y no conviene para los trabajos metalúrgicos.

La coquificación en montones, que se efectúa de un modo análogo á la carbonización de la leña por el mismo procedimiento, es de una instalación sencilla y poco costosa; pero es difícil conducir bién la operación y los productos dejan en general bastante que desear respecto á su calidad y cantidad. Así es que en el día se va sustituyendo casi en todas partes por la coquificación en hornos.

90. Coquificación en hornos.—La hulla se carboniza, mucho mejor que en montones, encerrándola en hornos á propósito y verificando la combustión de sus elementos volátiles por medio de una corriente de aire cuya intensidad pueda graduarse á voluntad. La operación es más regular y los productos más uniformes y de mejor calidad, pues puede modificarse la marcha de la operación según lo requiera la clase de hulla empleada. Para los montones es

preciso hacer uso de hulla gruesa, mientras que en los hornos no se coquifican generalmente más que menudas. Las únicas contras que tienen estos aparatos son los gastos de instalación y entretenimiento.

Los primitivos hornos consistían simplemente en una cámara de ladrillos refractarios, cubierta con una bóveda con una abertura para la carga y desprendimiento de los gases, y una ó dos aberturas en la parte inferior. Venía, pues, á ser como una especie de revestimiento fijo de los montones.

La forma de los hornos de cok ha sufrido muchas variaciones, así como la manera de practicar la operación; siendo los más perfeccionados aquellos en que la plaza y paredes están calentados por los mismos productos de la combustión y en los que la descarga se verifica de una sola vez y mecánicamente. Entre éstos pueden citarse como más ventajosos los sistemas de Smet y de Appolt más ó menos modificados.

91. Hornos de Smet.—Estos hornos (lám. I, figuras 5.^a y 6.^a), tienen la plaza rectangular y sus cámaras *a* están cerradas por dos puertas opuestas que sirven para la descarga; la de salida suele ser un poco mayor. En los que existen en la fábrica de Mieres la anchura de las cámaras en la parte por donde se da salida á la torta de cok, es de 84 centímetros, y por el otro lado solamente de 76; el largo es de 6 metros.

La carga se efectúa por dos aberturas *b* practicadas en la bóveda de cada horno á igual distancia de los extremos.

Los hornos están asociados por baterías, y sobre el macizo general hay dos vías por las que corren los vagones que llevan la carga.

Las puertas son de fundición, revestidas interiormente de ladrillos refractarios.

En los muros medianeros, así como en la plaza, existen varios conductos, que recorren los gases antes de llegar á la chimenea.

Los gases que provienen de la destilación se desprenden por las dos aberturas *c* abiertas en la bóveda y, siguiendo la

dirección indicada por las flechas, recorren sucesivamente dos canales horizontales practicadas en los muros laterales, y después otras dos bajo la plaza, desde donde pasan á la chimenea.

Las chimeneas están provistas de registros que se cierran más ó menos según el estado de la operación.

En los muros exteriores existen varias aberturas *d* que corresponden á las extremidades de los conductos. Se cierran más ó menos para suministrar el aire necesario á la combustión de los gases, y sirven al mismo tiempo para la limpieza de dichos conductos.

En cada horno se cargan 2800 kilogramos de hulla menuda, y la coquificación dura de veinticuatro á cuarenta y ocho horas, según sea la naturaleza de los carbones.

92. Cuando se carga un horno, el calor que conserva de la operación anterior es suficiente para provocar la destilación de la hulla, lo cual conviene que se efectúe lentamente tratándose de hullas grasas, que son las que se carbonizan en esta especie de hornos.

Las puertas se tienen cerradas, enlodadas las juntas y abiertos los registros de las chimeneas.

Al principio, la hulla suelta el agua que contiene y no se desprende más que humo por la chimenea; luégo, empiezan á desprenderse hidrógenos carbonados y la masa experimenta un principio de fusión, saliendo entonces por la chimenea humo y llama rojizas, resultado de la inflamación y combustión incompleta de los gases. Después, los fragmentos de hulla comienzan á aglutinarse y á hincharse toda la masa, lo cual está contrariado por la resistencia de las paredes y el peso de la carga.

Las llamas van aumentando en cantidad y brillo al mismo tiempo que disminuye el humo; la masa va poniéndose incandescente en la superficie. Cuando van disminuyendo las llamas que salen por la chimenea, señal de que la destilación se está acabando, empiezan á cerrarse los registros de las chimeneas; cerrándolos por completo cuando toda la masa

está incandescente y ha llegado á su máximo de dilatación. En este estado no debe descargarse el horno porque el cok se desharía en pequeños pedazos. Es preciso dejarlo algunas horas para que tenga lugar de contraerse, lo cual le hace más compacto, denso y duro.

Se verifica la descarga valiéndose de un aparato compuesto de una placa vertical de hierro colado de superficie igual á la sección del horno, á la cual va unida perpendicularmente en su centro una cremallera, de longitud mayor que la del horno, puesta en movimiento por una rueda dentada. Todo va montado sobre un vagón que corre sobre una ancha vía establecida á todo lo largo de la batería, por cuyo medio puede presentarse el aparato delante del horno que se trata de descargar. Puede maniobrarse á brazo, valiéndose de manivelas y engranajes, ó por medio de una máquina de vapor.

Para efectuar la descarga, se abren las dos puertas del horno, se presenta la placa de fundición delante de una de ellas y haciendo girar la rueda dentada, se hace avanzar la cremallera, y la placa irá empujando la torta de cok hasta hacerla salir por la puerta opuesta.

Descargado el cok, se procede inmediatamente á su extinción, lo cual se efectúa generalmente por medio del agua que se arroja sobre él, bién por medio de baldes, ó mejor aún con mangas de riego. Por muy minuciosa que haya sido la preparacion de los menudos de hulla que se han coquificado, el cok conserva siempre una cierta cantidad de azufre que, como ya sabemos (21), es muy perjudicial para el hierro. El agua que se emplea para su extinción hace desprender una parte del azufre bajo forma de hidrógeno sulfurado.

No debe emplearse el agua en exceso, porque el cok retendría humedad. La necesaria para la extinción varía de $\frac{3}{4}$ á $\frac{2}{5}$ del peso del cok.

93. Hornos de Appolt. Los hornos de Appolt están fundados en el mismo principio que los de Smet; es decir, en el calentamiento de las paredes. Difieren únicamente

en que su mayor dimensión es vertical y en que se descargan por el fondo.

La altura relativamente grande de las cargas, hace por su misma presión que el cok resulte más denso, y por consiguiente en estos hornos pueden coquificarse hullas menos grasas que en los de Smet; pero los productos no serán tan uniformes, pues naturalmente las capas superiores soportan menos presión que las inferiores.

La descarga se efectúa abriendo el fondo y recogiendo el cok en vagones que se colocan debajo. Esto es una ventaja, pues la operación se ejecuta rápidamente y sin necesidad de ningún aparato.

94. Antracita.—Es el combustible mineral más antiguo. Se le encuentra en los terrenos de transición y algunas veces en el secundario.

Es de textura compacta, de un color negro muy intenso y brillante. Su fractura es concóidea ó esquistosa. Arde con mucha dificultad, decrepitando y deshaciéndose en menudos pedazos, que obstruyen las parrillas y dificultan su aplicación.

Contiene más cantidad de carbono que los demás combustibles minerales, pues su proporción se eleva á veces á más de un 90 por 100. Por esta circunstancia, apenas cambia de estado por la destilación.

Su poder calorífico se calcula, según su composición, en más de 9000 calorías; prácticamente puede desarrollar unas 5800.

Hasta hace poco tiempo ha sido limitado su empleo por la propiedad que tiene de decrepitar. Hoy día se hace ya bastante uso de la antracita, mezclándola con hulla, ó calentándola antes de emplearla, y en muchos hornos altos de Inglaterra y los Estados-Unidos sustituye al cok con notable economía.

En España existe con bastante abundancia, especialmente en Colunga (Asturias) y en Hernani (Guipúzcoa).

95. Combustibles gaseosos.—Los combustibles

gaseosos provienen ya sea de la destilación, ya de la combustión incompleta de los diferentes combustibles que hemos descrito.

Los gases procedentes de la destilación se componen de hidrógeno é hidrógenos carbonados y de vapores de hidrocarburos líquidos.

Si se exceptúan los hornos de los sistemas de Smet y de Appolt, en que la coquificación de la hulla se efectúa merced al calor desarrollado por la combustión, en los conductos de las paredes, de los mismos productos volátiles de la hulla, rara vez se hace uso en metalúrgia de los gases procedentes de la destilación.

Los productos de la combustión incompleta de las sustancias carbonadas varían de naturaleza según sea la sustancia que le ha dado origen. Cuando provienen del carbón vegetal, del carbón de turba ó de la antracita, es decir, de cuerpos compuestos casi exclusivamente de carbono y elementos fijos, el gas resultante se compone en su mayor parte de óxido de carbono y ázoe. Si proceden de sustancias que, como la madera y la hulla, contienen elementos volátiles, al óxido de carbono y ázoe se agregarán los hidrógenos más ó menos carbonados que habrían resultado de su destilación.

Los gases combustibles se producirán siempre que el ácido carbónico, formado por la combustión de una parte del combustible, encuentre, antes de desprenderse del aparato en que se produce, la cantidad suficiente de carbón incandescente para transformarse en óxido de carbono.

Los aparatos en que se verifica la gasificación de los combustibles, se llaman *gasógenos*. Presentan disposiciones muy variadas, constituyendo los aparatos Siemens, Ponsard, Boetius, Lundin, Bicheroux, etc. Como casi todos los gasógenos son parte integrante del horno en que se quema el gas, dejaremos la descripción de algunos de ellos para cuando nos tengamos que ocupar del aparato correspondiente.

Los gases combustibles se producen también accidental-

mente en varios aparatos metalúrgicos, particularmente en los hornos altos, y se aprovechan para diferentes objetos.

El empleo de los gases combustibles ha sido la base de un gran número de adelantos en la siderurgia. La marcha de un horno calentado con gas puede conducirse mucho mejor que la de un horno calentado con combustible sólido.

El combustible gaseoso puede quemarse inmediata y completamente sin dejar ceniza ni residuo alguno. La cantidad de aire puede graduarse de modo que la llama sea oxidante, néutra ó reductriz, según convenga. La temperatura es mucho más uniforme, y por último, por el sistema de la *regeneración* del calor, que consiste en introducir en el horno el aire y los gases calentados por el calor abandonado por los productos de la combustión al salir de él, pueden obtenerse temperaturas que no es fácil alcanzar con los combustibles sólidos.

La gasificación previa de los combustibles proporciona el empleo en muy buenas condiciones de sustancias que de otro modo sería difícil, si no imposible, aprovechar. Así es que se gasifican los menudos de cok, las hullas secas, las antracitas, la turba, el lignito y hasta el aserrín.

CAPÍTULO III

FABRICACIÓN DEL HIERRO COLADO

Artículo 1.º—Generalidades sobre el procedimiento.

96. Manera de separar el hierro de la mena que lo contiene.—Hemos visto (36) que todas las menas de hierro son óxidos anhidros ó hidratados y carbonatos, que después de calcinados quedan también reducidos á peróxidos, mezclados con gangas de diferente naturaleza. Por consiguiente, para extraer el hierro de estas menas, es preciso reducir el óxido y separar la ganga del metal obtenido.

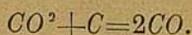
Por la adición de fundentes convenientemente escogidos, hemos indicado (63) cómo pueden formarse con la ganga compuestos fusibles, que por lo tanto podrían separarse sin dificultad de las partes ferrosas; y si éstas se encuentran á una elevada temperatura en contacto con carbón, se combinarán ó disolverán una cierta parte de él, y el producto obtenido será *hierro colado* en estado líquido.

97. Agentes reductores que deben emplearse.—Veamos cuál debe ser el agente reductor empleado para producir este efecto.

Todo combustible es un agente reductor, ya sea sólido, líquido ó gaseoso, y su mayor ó menor energía como reductor

de las menas de hierro dependerá: de la temperatura, de su avidéz por el oxígeno, y del mayor ó menor contacto que tenga con el oxígeno de la mena. Ahora bién, encontrándose ésta en pedazos de cierto grueso, el reductor debe ser un cuerpo gaseoso para que pueda penetrar por sus grietas y poros hasta el interior de ellos. Por consiguiente, los reductores que podrán emplearse serán los combustibles gasificados, es decir, el *óxido de carbono*, el *hidrógeno* y los *hidrógenos carbonados*. El primero, obteniéndose á un precio mucho ménos elevado que los otros, es el único empleado en la industria.

La producción del óxido de carbono es sumamente sencilla. Quemando carbón en capas suficientemente espesas, y haciendo llegar el aire por la parte inferior, se formará primeramente ácido carbónico, el cual, teniendo que atravesar el carbón en estado incandescente, le cederá la mitad de su oxígeno formándose inmediatamente un volumen doble de óxido de carbono



Si este óxido de carbono se pone en contacto con la mena á una elevada temperatura, como en ésta se encuentra el hierro generalmente en estado de peróxido, ó de un óxido inferior, y el óxido de carbono es muy ávido de oxígeno, se irá apoderando poco á poco de este cuerpo y reducirá el hierro al estado metálico, reacción expresada por esta fórmula:



98. Aparatos en que se efectúa la operación.—Los aparatos en que se verifican estas reacciones son hornos de cuba análogos á los que sirven para la cocción de la cal. Los minerales mezclados con los fundentes y combustibles se cargan por la parte superior en capas alternadas y la combustión, activada por el viento que se inyecta por la parte inferior, se propaga de abajo arriba con intensidad decreciente. En virtud de esto, la reducción del

óxido de hierro no se opera inmediatamente como manifiesta la fórmula anterior, sino de una manera gradual. La reacción no comienza hasta que el óxido ha adquirido una temperatura de 200 á 500° y entonces se reduce solo parcialmente, porque el óxido de carbono se ha convertido en ácido carbónico, que es un agente oxidante para el hierro; y conforme á la ley de las masas en las combinaciones, la reducción no podrá terminarse hasta tanto que en la mezcla gaseosa de ácido carbónico y óxido de carbono no se encuentre este último gas en exceso. Según los experimentos de M. Debray, cuando los volúmenes de ácido carbónico y óxido de carbono son iguales, es decir, que en peso la relación $\frac{CO^2}{CO} = 1,58$, no se pueden reducir los óxidos de hierro al calor rojo, más que al estado de protóxido y el hierro metálico no empezará á aparecer hasta que esta relación descienda á 0,80 ó 0,70.

El hierro reducido, al bajar á la parte del aparato donde se verifica el máximo de temperatura, absorbe una parte del carbono y pasa al estado de *fundición*. Este cambio de estado puede explicarse de diferentes maneras, apoyadas y combatidas unas y otras por ilustres químicos y metalurgistas. O bién el hierro y el carbono se combinan en el estado sólido dando un producto fusible, ó bién á la elevada temperatura que se produce en esta parte del horno, el hierro se liquida y disuelve el carbono, ó también aun el hierro metálico obra sobre el óxido de carbono y lo descompone en ácido carbónico y carbono con el cual se combina, $2 CO = CO^2 + C$.

Entre las sustancias que se introducen en el horno en que se produce el hierro colado, hay siempre una cantidad de sílice; pues si la ganga no la contiene, es preciso añadirla con objeto de fundirla. El óxido de hierro tiene una gran afinidad por la sílice y á una elevada temperatura se combina con ella para formar un silicato fusible. Como esta combinación haría pasar en las escorias una cantidad de hierro que sería perdida, es muy interesante el evitarla. Para conseguir esto,

basta hacer de manera que el óxido de hierro llegue reducido á la parte inferior del aparato donde existe la temperatura necesaria para la formación de los silicatos, lo cual no puede conseguirse sino dando grande altura á los aparatos, motivo por el cual se les ha dado el nombre de *hornos altos*.

Art. 2.º—Descripción del horno alto.

99. Nomenclatura de sus diferentes partes.—La forma y dimensiones de los hornos altos son sumamente variables por consideraciones que trataremos en otro lugar; pero, para poder ser clasificados como tales, su altura no debe nunca ser inferior á 9 ó 10 metros.

Al principio todos los hornos altos se construian bajo una forma tipo y se dieron diferentes nombres á cada una de sus partes. Estos nombres se han conservado en los hornos actuales aun cuando su forma se separe más ó ménos de la primitiva, la cual consistía en dos troncos de cono de diferente altura, unidos por sus bases mayores. El cono superior *AB* (fig. 7.ª, lám. II), cuya altura es ordinariamente los dos tercios de la total del horno, recibe el nombre de *cuba*, nombre que algunas veces se aplica á todo el hueco interior. La base superior de este cono, que es la de menor diámetro, recibe el nombre de *boca*, *tragante* ó *cargadero*. Esta está algunas veces prolongada por una especie de chimenea con varias puertas laterales para cargar el combustible y mineral, y otras está cubierta de diferentes maneras, diciéndose en uno ú otro caso que el horno es de *tragante abierto* ó de *tragante cerrado*. La base inferior *BC*, que es la parte mas ancha del horno, se llama *vientre*, y en el caso en que los dos conos en vez de unirse directamente por sus bases lo verifiquen por el intermedio de una superficie cilíndrica ó por la engendrada por una curva tangente á las generatrices de ambos, el mismo nombre se hace extensivo á estas partes.

El cono inferior *CD*, cuyas generatrices tienen mayor inclinación con la vertical que las del superior, se llama los

etalajes. Este cono muy rara vez se prolonga hasta la parte inferior del horno, generalmente se continúa por otra parte más estrecha, *DE*, que suele ser cónica, cilíndrica ó de sección cuadrada, parte que se denomina *la obra*, nombre que se le dió cuando se creía que en este sitio era donde se operaba particularmente la reducción de la mena; pero aun cuando esto no sea exacto, el calificativo no deja de ser apropiado, pues en dicha parte es donde se verifica la combustión y la fusión.

La parte inferior de la obra que recibe los productos fundidos, se denomina *crisol*. El crisol puede estar todo él comprendido por las prolongaciones de las paredes de la obra, en cuyo caso se dice que el horno es de *crisol interior*, ó puede tener una parte interior y otra exterior que se llama *antecrisol*.

La pared de la obra que corresponde encima del antecrisol no llega hasta la *plaza* ó fondo del horno, sino que se detiene á una cierta altura. Esta pared, *F*, llamada *timpa*, está sujeta con fuertes piezas de hierro empotradas en las paredes laterales de la obra y está además sostenida y protegida en su parte inferior por una pieza de hierro, llamada *hierro de timpa*, por cuyo interior se hace pasar constantemente una corriente de agua, á cuyo efecto tiene empotrado un tubo en forma de serpentin.

La parte anterior del crisol, debajo de la timpa, está cerrada por una piedra *G* de forma prismática ó un muro de ladrillos refractarios á que se da el nombre de *dama*, tomado del alemán *damm* (dique). En la parte inferior tiene un agujero ó *piquera* para hacer la sangría, de 8 á 10 centímetros de ancho por 12 á 15 de alto. La piqueta está tapada con un tapón de arcilla, que se destruye con un espetón cuando se va á sangrar el horno. En la parte superior tiene abierta una escotadura ó *bigote* de 6 á 8 centímetros de profundidad para guiar las escorias que rebosan del antecrisol y las cuales se dejan correr por un plano inclinado ó meseta hasta el piso de taller.

Para que las escorias no puedan caer delante de la dama y obstruir la piquera, el plano inclinado está limitado por una plancha de hierro apoyada contra la cara exterior de la dama y que se llama plancha de *gentil hombre*.

Las paredes laterales del crisol se llaman *costeros* y la posterior *trasera* ó *rustina* del alemán *rückstein* (piedra de atrás).

El objeto del antecrisol, es poder limpiar con facilidad el crisol en el caso de que ocurra un atascamiento. Pero el medio es casi siempre contraproducente, pues las materias contenidas en el antecrisol son las más propensas á enfriarse, y por lo tanto, en el caso de producirse dicho accidente, será precisamente en esta parte donde tendrá lugar con preferencia. Así es, que en el día se va generalizando mucho el uso de hornos de *pecho* ó *delantera cerrada*, es decir, sin antecrisol. En este caso, es preciso adoptar una disposición para que las escorias tengan fácil y conveniente salida, y la más comunmente empleada es la de la tobera Lurmann, la cual consiste (figs. 8.^a y 9.^a, lám. II), en una tobera de bronce *T* refrescada por una corriente de agua, fija en una caja de fundición *C* refrescada igualmente por el agua que corre por un serpentín embutido en su masa. Esta caja está así mismo fija á una gran abertura guarnecida con un marco de hierro colado también con serpentín, y asegurada por un apisonado de tierra refractaria *BB*, fácil de taladrar en el caso de que se atascase la tobera.

En las paredes de la obra, sobre la horizontal que pasa por el vértice de la dama, hay practicados varios huecos ó troneras para la introducción de las *toberas* destinadas para lanzar en el interior del horno el aire necesario para la combustión. Cuando la obra es de sección cuadrangular, el número de toberas es generalmente dos ó tres; cuando son dos, están colocadas en los costeros y cuando tres, la tercera se dispone en la rustina un poco más alta que las otras para que el viento no salga por el antecrisol. Cuando la obra es de sección circular, se emplean generalmente tres toberas cuando

el diámetro de la obra es inferior á 1^m,20 y en las que tienen de 2^m á 2^m,5 se hace uso de cinco, seis y siete, habiendo llegado hasta nueve y diez, y hasta se ha propuesto, con objeto de hacer más uniforme la temperatura, sustituirlas por una sola abertura circular. Pero la exageración en el número de toberas debilita la construcción del horno, y para una misma cantidad de aire inyectado, es preciso aumentar la presión á causa del mayor frotamiento que se produce. Las toberas deben colocarse horizontales y normales á las paredes de la obra; pero cuando resulten dos opuestas, se debe variar su dirección para que los chorros de viento no se contraríen.

100. Revestimiento interior y exterior.—El revestimiento interior del horno ó la *camisa*, teniendo que soportar una elevada temperatura, se construye de ladrillos refractarios; y el exterior, que sirve para consolidar la construcción y evitar las pérdidas de calor, se fabrica ordinariamente con ladrillos ordinarios, y se refuerza con aros de hierro. Entre ambos se deja un espacio que se rellena de sustancias poco conductoras del calor, como arena ó escorias, que al mismo tiempo permiten á la camisa dilatarse libremente. Dicho revestimiento exterior descansa sobre pilares de fábrica reunidos entre sí por medio de bóvedas. Estos pilares se reemplazan hoy día ventajosamente por columnas de hierro colado que permiten á los operarios más cómodo acceso á las toberas sin ser molestados por el calor. Estas columnas sostienen dos fuertes anillos de fundición concéntricos y con una ligera separación entre sí. El interior soporta parte del peso de la camisa, y sobre el otro insiste el revestimiento exterior.

El revestimiento exterior suele construirse también con planchas de palastro reunidas con remaches como las obras de calderería, el cual se reviste interiormente de una delgada pared de ladrillos.

La camisa, en la parte correspondiente á la obra é inferior de los etalajes, se suele dejar hoy día descubierta para que pueda soportar sin deteriorarse la gran temperatura que

en ella se desarrolla, particularmente cuando se emplea el aire caliente. En algunos establecimientos la refrescan además con una corriente de agua que cae constantemente en una caja que rodea al crisol. Este procedimiento es peligroso, pues si se produce alguna grieta por donde el agua pueda penetrar y ponerse en contacto con la fundición, se producirá súbitamente una inmensa cantidad de vapor que puede hacer reventar el horno y causar terribles desgracias.

101. Situación más conveniente del horno.—

Siempre que sea posible se construyen los hornos altos al lado de una elevación del terreno, donde puedan acumularse los materiales para cargarlo y que esté á la misma altura que el tragante, con el cual se reúne por medio de un puente. Para evitar los derrumbamientos y dar al terreno elevado una inclinación mayor que la pendiente natural de las tierras, permitiendo en consecuencia que el tragante esté más cerca de él y, por lo tanto, el puente sea más corto, se recubre del lado del horno con un muro de revestimiento. Cuando el terreno no permite esta disposición, las cargas se hacen subir hasta el tragante por medio de ascensores, generalmente hidráulicos.

102. Cimientos.—Los cimientos de un horno alto deben ser muy sólidos puesto que tienen que soportar una masa muy considerable. Deben secarse cuidadosamente antes que el horno empiece su trabajo, porque si no se agrietarían con el calor y quedaría comprometida la solidez de la construcción. A este efecto, y cuando los conductos del viento para las toberas son subterráneos, se construyen debajo del crisol canales abovedados, por las que se hacen pasar éstos y cuyas canales permiten una rápida desecación de los cimientos.

Art. 3.^o—Teoría de los hornos altos.

103. Describos ya los hornos altos, vamos á ocuparnos en explicar las reacciones que se producen entre las menas,

fundentes y combustibles que se introducen por el tragante y el aire inyectado por las toberas para dar por resultado la fundición y escorias que se acumulan en el crisol y los gases que se desprenden por el tragante.

Ebelmen ha hecho en diferentes épocas y sobre diversos hornos altos multitud de experimentos, tanto sobre los gases como sobre las materias sólidas. Los primeros los recogía por medio de taladros practicados en diferentes puntos de la pared de los hornos, y para analizar las transformaciones de las segundas, las introducía en las mismas proporciones que las cargas, dentro de una campana de palastro agujereada, la cual, suspendida de una cadena, dejaba descender en el horno, retirándola cuando había llegado á cierta profundidad y analizando los productos.

Aun cuando los resultados de los análisis de Ebelmen varían en los diferentes hornos y según las menas y combustibles empleados, las transformaciones de las columnas ascendentes y descendentes siguen una ley general que puede servirnos para explicar las reacciones producidas en los hornos altos. Con este objeto consideremos por una parte la columna ascendente de los gases producidos por la combustión y por otra la descendente de los productos sólidos introducidos por el tragante.

101. Columna ascendente.—El aire soplado por las toberas encuentra al carbón candente y lo quema, transformándolo en ácido carbónico y produciendo una elevadísima temperatura. Como en todo soplete, el chorro de gas se divide en tres zonas: una *oxidante* á partir del ojo de la tobera, rodeada por una *neutra*, donde se verifica el máximo de temperatura, y en que los elementos están parcialmente disociados, la cual está envuelta á su vez por una zona *reductora* donde abunda el óxido de carbono producido por la reacción del ácido carbónico sobre el carbón candente que encuentra después. La extensión relativa de estas tres zonas varía con la temperatura y presión del viento y la naturaleza y cantidad del combustible, y, como en los hornos altos el

peso de éste suele llegar al tercio y hasta á la mitad de la sustancia mineral, la zona de reducci3n no contiene generalmente m3s que 3xido de carbono. Esto est3 comprobado por diversas experiencias ejecutadas analizando los gases tomados en diferentes puntos á la proximidad de las toberas, y de todas ellas puede deducirse que la zona neutra 3 de combusti3n no se extiende nunca á m3s de 0^m,40 3 0^m,50 del eje del chorro de viento. Ebelmen, en el horno alto de Seraing, ha dejado de encontrar el 3cido carb3nico á 0^m,72 por encima de las toberas, y en el alto horno de Pont l'Eveque (departamento del Isere) ha comprobado 5,87 por 100 de 3cido carb3nico á 0^m,29, 8,11 por 100 á 0^m,24 por encima de las toberas, y solamente 0,16 por 100 á 0^m,67. A esta distancia el oro y el cobre se funden con facilidad, pero no el hierro, mientras que en la zona de combusti3n el platino y la porcelana se funden, y una cabilla de hierro de 9 mil3metros de di3metro introducida en el horno á la altura de 0^m,29 se fundi3 completamente en una extensi3n de 0^m,2 en menos de minuto y medio (1). Esta reducci3n del 3cido carb3nico, que hace pasar el carbono del estado s3lido al gaseoso, produce una gran disminuci3n de calor á consecuencia del calor de vaporizaci3n absorbido, y la temperatura en los etalajes y parte baja de la cuba es menor que la que hubieran perdido los gases por la simple conductibilidad de las materias s3lidas.

En toda la extensi3n de los etalajes los gases se componen casi exclusivamente de 3xido de carbono y de azoe, m3s una peque1a cantidad de hidr3geno, resultante de la descomposici3n por el carb3n, del vapor de agua que puede contener el aire lanzado por las toberas, estando el ox3geno del 3xido de carbono con el azoe en la misma proporci3n que en el aire atmosf3rico; lo cual manifiesta que este 3xido de carbono proviene simplemente de la combusti3n del carb3n y que hasta aqu3 no ha intervenido en ninguna reacci3n.

(1) *Annales des mines*, 4^e serie, tome V.

A partir del vientre, el óxido de carbono empieza á reducir el óxido de hierro de la mena, y el ácido carbónico producido, en contacto con el carbón vuelve á regenerar el óxido de carbono; pero, como la combustión del carbón por el ácido carbónico necesita cierta temperatura y ésta va disminuyendo á medida que se asciende en el horno, llega un momento en que este ácido carbónico no regenera el óxido de carbono, y así es que á la mitad de la cuba se encuentra ya una proporción bastante fuerte de dicho ácido, que va aumentando hasta el tragante con el resultante de la transformación en cal de la *castina*. De donde resulta que el gas que se desprende por el tragante es una mezcla de óxido de carbono y ácido carbónico (doble volúmen del primero que del segundo generalmente), de azoe, de hidrógeno é hidrógenos carbonados, abandonados por el combustible, más el hidrógeno y óxido de carbono que provienen de la descomposición del vapor de agua que contenga el aire inyectado. Todos estos gases salen á una temperatura que no pasa generalmente de 200° á 400°, según que la altura del horno sea más ó menos proporcionada; pero son eminentemente combustibles por la gran cantidad de óxido de carbono que contienen.

105. Columna descendente—Examinemos ahora la columna descendente de las materias sólidas.

En la parte superior de la cuba las materias se desecan y pierden su agua higrométrica, y un poco más abajo la de combinación que puedan contener. La temperatura sigue aumentando á medida que se descende, y cuando llega á 400°, lo cual suele suceder entre 2 y 4 metros por bajo del tragante, el peróxido de hierro empieza á reducirse, pero muy lentamente. Más abajo continúa la reducción con más energía, y la *castina* comienza á desprender su ácido carbónico, lo cual produce una disminución de temperatura. La reducción del óxido y calcinación completa de los carbonatos, se terminan en el vientre ó parte superior de los etalajes.

En la parte superior de la obra, donde reina ya una temperatura bastante elevada, el hierro metálico reducido, en

contacto con el carbón candente, absorbe cierta cantidad de él, y pasa al estado de fundición, y entre la ganga, castina y cenizas del combustible, se forman silicatos que se funden más abajo, constituyendo las escorias. Además, si la temperatura es muy elevada, se reducen también en contacto con el carbón algunos otros óxidos, que contenga la mena, más irreductibles que el de hierro, la sílice particularmente; y la fundición contendrá una proporción de silicio tanto mayor, cuanto más elevada sea la temperatura. De esto resulta que las fundiciones con cok y con aire caliente, son más siliciosas, en igualdad de circunstancias, que las obtenidas con el carbón vegetal.

En la parte inferior de la obra, á 30 ó 40 centímetros por encima de las toberas, la fundición y los silicatos se funden completamente y caen en forma de lluvia en el crisol, donde se separan por orden de densidades, cubriendo las escorias el hierro colado, é impidiendo que pueda ser oxidado por el aire de las toberas. Cuando el nivel de las escorias llega al borde de la dama, empiezan éstas á verterse por el plano inclinado sobre el piso del taller, y cuando el crisol está próximo á llenarse de fundición, debe darse principio á la sangría.

Art. 4.º—Empleo del aire caliente.

106. En el año 1819, en los altos hornos del Clyde, se hicieron por Neilson, Director de la fábrica de gas de Glasgow, los primeros ensayos para inyectar aire caliente en los hornos altos, en vez del aire frío que hasta entonces se había empleado. Los primeros ensayos no dieron buenos resultados, y posteriormente la adopción del procedimiento ha tenido varias alternativas, habiendo vuelto á trabajar con aire frío varias fábricas que le habían establecido; pero en el día, habiéndose perfeccionado los aparatos para calentar el aire, y obteniéndose una economía de combustible, que es por término medio de un 25 por 100, su empleo se ha generalizado mucho, particularmente en Francia, y aun en Inglaterra,

donde la abundancia y baratura del carbón no hacen tan necesaria esta medida.

107. Economía debida al empleo del aire caliente.—Desde luego se comprende fácilmente que el empleo del aire caliente produce una economía de combustible. En los altos hornos se necesita desarrollar una gran temperatura para obtener la fusión de los silicatos, y al mismo tiempo producir una gran cantidad de óxido de carbono para obtener la reducción de las menas.

Ahora bién, el carbono, por su combustión completa en CO_2 desarrolla por unidad de peso 8080 calorías, y por su transformación en CO solamente 2473, y siendo este último gas el que debe producirse, se ve que para obtener en estas condiciones el mismo calor que por la combustión completa del carbón, se necesitaría emplear más de triple cantidad de éste, lo cual puede economizarse inyectando el aire préviamente calentado.

Otra consideración nos permite patentizar la economía realizada por el empleo del aire caliente. El aire inyectado en el horno alto necesita elevarse en la parte inferior de éste á una temperatura de 1500° próximamente. Pero para transformar un kilógramo de cok en óxido de carbono, se necesita, suponiendo que éste contenga 80 por 100 de carbono, $3,57m^3$ de aire á la presión normal, ó sean $4^k,600$ próximamente, de donde resulta que la cantidad de aire inyectado es seis ó siete veces el peso de la fundición producida; por consiguiente, una gran cantidad de combustible se emplea en calentar este aire, cantidad que será tanto menor, cuanto más caliente se introduzca en el aparato.

Esta economía de combustible parece una paradoja á primera vista, pues el combustible que se economiza en el horno debe emplearse en otra parte para calentar el aire, y por consiguiente este sistema parece desventajoso, pues se necesitan dos aparatos en vez de uno para producir el mismo resultado. Pero es preciso tener en cuenta que hay una porción de combustibles que, por su impureza, no pueden ser emplea-

dos en los hornos altos y pueden sin inconveniente utilizarse en calentar el aire, y empleándose, como se hace generalmente, los mismos gases de los hornos altos, se aprovecha una cantidad de calor que se había perdido en ellos. En efecto, el principal elemento combustible de estos gases, es el óxido de carbono, gas que proviene de la combustión por el ácido carbónico de una parte del carbón (cuyo único efecto en el horno es un descenso de temperatura) y del que ha sobrado de la reducción de la mena; y este gas, al quemarse, desarrolla 2403 calorías que dejó de producir el carbón que se introdujo en el horno y que se hacen entrar en él (prescindiendo de las pérdidas) con el aire calentado.

Otra causa de economía es que el aire caliente disminuye en el horno la extensión de la zona de combustión. Para que el aire pueda quemar el carbono, necesita estar á una temperatura que varía de 225 á 800 grados, según la clase de combustible. Si el aire se inyecta frío, solo una porción de él tomará en la parte inferior de la obra la temperatura necesaria á la combustión y el resto irá ascendiendo y verificando ésta á medida que se vaya calentando. Pero si este aire se ha calentado de antemano á una temperatura de 300 ó más grados, la combustión se verifica inmediatamente empleándose todo el aire y la zona de combustión se reduce considerablemente. Como la cantidad de combustible quemado en la parte baja de la obra debe ser la misma, ya se emplee aire frío ó aire caliente, y en este último caso se ahorra el de las partes superiores, habrá una reducción en el consumo total, tanto mayor cuanto más caliente esté el aire.

108. Influencia del aire caliente sobre la temperatura de las diferentes partes del horno.—La temperatura de combustión, aumentando con la presión y temperatura del aire comburente, resulta que por el empleo del aire caliente en los hornos altos, se aumenta la temperatura en la obra y no quemándose combustible en las partes más elevadas, como hemos dicho antes, será en ellas menor la temperatura.

Veamos qué resultados producen estos cambios de temperatura en la reducción de los minerales, calidad de la fundición y naturaleza del combustible.

109. Acción que ejerce el aire caliente inyectado en el horno sobre la reducción de las menas y calidad de los hierros colados obtenidos.—La temperatura relativamente baja de las partes superiores da lugar á que las menas se reduzcan completamente antes de que puedan formarse los silicatos, y por consiguiente se perderá ménos hierro en las escorias. Por otra parte, la mayor temperatura de la obra asegura la completa fusión de las materias y facilitará la producción de fundición gris, pues el hierro absorberá mayor proporción de carbono, y, estando más caliente, la fundición tardará más tiempo en solidificarse y una gran parte pasará al estado de grafito, pudiendo llegar á ser tal su cantidad, que haga disminuir la tenacidad de la fundición.

En las menas existen siempre además de los óxidos de hierro otros varios óxidos cuya reducción se verifica á diferentes temperaturas.

Los compuestos oxigenados del cobre, arsénico, fósforo, azufre y todos los que se reduzcan á una temperatura inferior á la necesaria para reducir los óxidos de hierro, se reducirán siempre con éstos, ya se emplee el aire frío ó el aire caliente. Pero la sílice, cal, magnesia, óxidos de manganeso y todos los óxidos de difícil reducción, se reducirán en proporción tanto mayor cuanto más grande sea la temperatura del viento; y por consiguiente, los hierros colados obtenidos con el aire caliente contienen particularmente una proporción mayor de silicio y manganeso.

Este puede decirse que es el único inconveniente del empleo del aire caliente. Así es, que cuando se quieren obtener productos de una gran pureza, además de hacer uso de minerales de calidad superior, se emplea el aire frío, en hornos alimentados con carbón vegetal y de poca altura, para que la presión del viento sea la menor posible, y naturalmente

también se arreglan los lechos de fusión de manera que resulten silicatos muy fusibles.

En cambio el empleo del aire caliente permite obtener fundiciones menos sulfurosas, porque siendo mayor la temperatura en la zona de fusión, no hay inconveniente en que resulten silicatos más refractarios, y por consiguiente, puede aumentarse la proporción de castina. Ahora bién, el calcio que resulte de la reducción de la cal, teniendo más afinidad por el azufre que el hierro, formará sulfuro de calcio, que quedará en las escorias, y la fundición resultará desembarazada del azufre.

110. Combustibles de que puede hacerse uso merced al empleo del aire caliente.—Con el aire caliente, gracias á la alta temperatura que se desarrolla en la obra, pueden emplearse otros combustibles diferentes del cok y carbón vegetal, únicos empleados con el aire frío. En vez del carbón vegetal puede emplearse la leña tostada, seca y hasta verde, en cuyo caso se aprovecha todo el carbono contenido en ella y se ahorran los gastos de carbonización. Además, disminuyéndose algo la temperatura de la obra, las fundiciones obtenidas contendrán menos silicio. El cok puede reemplazarse por la hulla; pero es preciso que ésta sea muy pura para no perjudicar la calidad de los productos. Por último, con el aire caliente puede hacerse uso de la antracita, lo cual no es posible con el aire frío.

El aire se calienta generalmente de 300 á 400°, pero en algunos hornos altos de Inglaterra se le calienta hasta 600°.

Art 5.º—Dimensiones y formas interiores de los hornos altos.

111. La forma y dimensiones de las diversas partes interiores de los hornos altos, varían muchísimo y la metalurgia no ha podido hasta el día precisar reglas prácticas aplicables á este objeto. Sin embargo, hay varios elementos que se comprende desde luego que deben influir en estas dimensiones, y algunas consideraciones, y sobre todo la observación de

los resultados obtenidos, permiten fijar ciertos límites de los cuales no es conveniente pasar. Los elementos cuya influencia es predominante, son: la naturaleza de las primeras materias, el volúmen y presión del aire inyectado, y la cantidad y naturaleza de los productos.

112. Dimensiones más convenientes según sea la naturaleza de las primeras materias que se traten, el volúmen y presión del aire inyectado, y la cantidad y naturaleza de los productos que se deseen obtener.—Las menas refractarias y de difícil fusión necesitan: estar más tiempo sometidas á la acción de los gases reductores, para que la reducción se verifique completamente antes de llegar á la zona de fusión y que en ésta la temperatura sea muy elevada. Estas dos condiciones pueden satisfacerse: la primera, aumentando la altura del horno; y la segunda, disminuyendo el volúmen de la obra.

La primera condición podría llenarse también sin aumentar la altura del horno, disminuyendo la velocidad de bajada de las cargas; pero en este caso se disminuiría la producción. Esto en el supuesto de que las demás condiciones diferentes de las dimensiones del horno permanezcan constantes, pues por el aumento de temperatura del aire entre ciertos límites podría conseguirse el mismo resultado.

Si las menas son difíciles de reducir, pero fusibles, la altura deberá también aumentarse; pero en este caso podrá darse mayor diámetro á la obra.

La naturaleza y dosis de los fundentes ejercen sobre las dimensiones del horno una influencia análoga á la de las menas.

113. Conocida la cantidad de aire necesaria para la buena marcha del horno, su presión debe determinarse de manera que pueda vencer la resistencia que oponen al ascenso de los gases las materias menudas más ó menos comprimidas que llenan la cuba, sin que sea tan fuerte que produzca una violenta disgregación que perjudicaría la unifor-

midad de la combustión. Por consiguiente, esta presión debe aumentar con la densidad del combustible y la altura del horno. En los hornos con carbón vegetal, no excede nunca de 8 á 10 centímetros de mercurio, mientras que en los que trabajan con cok, puede llegar á 20 y 25. Determinada la presión del viento, el diámetro de la obra en la parte de las toberas no podrá exceder de ciertos límites, pasados los cuales el viento no podría llegar al centro, y entonces quedaría en el eje del horno una columna incompletamente atravesada por él y por los gases, en la cual las menas resultarían reducidas y fundidas de una manera imperfecta.

114. Si se quiere producir fundición gris sabemos (**109**) que es preciso aumentar la temperatura de fusión, y, por lo tanto, será preciso disminuir el diámetro de la obra. Si por el contrario se desea obtener fundición blanca, la sección de dicha obra podrá ser mayor, y en este caso las cargas descenderán más rápidamente y aumentará la producción diaria.

Vamos á considerar separadamente la influencia que cada una de las partes de los hornos altos ejercen sobre su marcha.

115. Del vientre.—El vientre es la parte del aparato que tiene mayor influencia sobre la producción diaria de fundición y consumo de combustible. Sus dimensiones se determinan por la cantidad de productos que se desea obtener, y á él se arreglan generalmente las dimensiones de las demás partes del aparato.

Las materias se preparan tanto mejor y la marcha del horno será tanto más regular cuanto más ancho sea el vientre; pero es necesario que la cantidad y presión del viento sean suficientes para mantener una combustión activa, y esta consideración limita su anchura. Por esto en los hornos que marchan con carbón vegetal, el diámetro del vientre no excede generalmente de 4 metros, mientras que en los que marchan con cok es de 6 á 7, y en algunos hornos ingleses llega hasta 9.

116. Altura total.—Es conveniente dar la mayor altura posible á los hornos. Teniendo más tiempo para redu-

cirse las menas, se puede apresurar el descenso de las cargas, y por consiguiente, aumentar la producción. Las escorias contendrán menos hierro, pues las menas se habrán reducido ántes de llegar al sitio del horno donde empiezan á formarse los silicatos; y por último, los gases saldrán ménos calientes por el tragante y el calor que han cedido á las materias sólidas se economiza de combustible.

La elevación del horno es, por lo tanto, favorable á la producción diaria, al rendimiento y á la economía de combustible. Pero es preciso aumentar la presión del viento y que los minerales y combustibles tengan la suficiente consistencia para no deshacerse por la mayor presión que entonces existe en el aparato, lo cual impediría la marcha ascensional de los gases.

Esta condición limita la altura de los hornos altos, la cual no debe exceder de 14 metros cuando se emplean menas finas ó terrosas, ó carbones tiernos, como el vegetal, ó que decrepita y se convierte en polvo, como la antracita. Cuando los minerales y el cok son resistentes y en grandes fragmentos, puede llegarse hasta 25 metros.

La altura debe guardar una relación con la masa de combustible que arde á la vez en el aparato, es decir, con el diámetro del vientre. Por término medio es de cuatro veces dicho diámetro.

117. Del tragante.—En otro tiempo se han hecho los tragantes muy estrechos con objeto de évitarse por esta parte las pérdidas de calor y aprovechar mejor el desarrollo por la combustión. Pero estos tragantes estrechos ocasionan, por el contrario, una desigualdad en la marcha del horno muy perjudicial para la economía. En efecto, cuanto más estrecho sea el tragante, suponiendo invariable la sección y altura del vientre, mayor será la inclinación de las paredes de la cuba con respecto á la vertical, y á consecuencia de esto las materias sólidas tenderán á separarse de ellas, y al mismo tiempo rechazarán hacia esta parte el carbón como más ligero, resultando que las menas estarán acumuladas en

el centro, el cual será menos poroso que las partes próximas á las paredes.

Los gases, por lo tanto, tenderán á seguir preferentemente las paredes y ejercerán menos acción sobre el centro, que es precisamente donde abundan las menas. Por consiguiente, éstas descenderán imperfectamente reducidas, ó habrá necesidad de forzar la proporción de combustible. Este efecto se comprende que será tanto mayor cuanto más grande sea la inclinación de las paredes de la cuba, es decir, cuanto más estrecho sea el tragante.

Aun en el caso de que la cuba fuera cilíndrica, los gases tendrían todavía tendencias á seguir las paredes, pues las materias están ménos comprimidas en este sitio. Además, el frotamiento del mineral contra las paredes, retarda su descenso, y de esto resulta que la columna central, que es la que descende más de prisa, es la que experimenta menos la influencia de los gases. De esto se deduce que para obligar á los gases á dirigirse hacia el centro, será preciso hacer los hornos abiertos de boca, es decir, que las paredes de la cuba estén inclinadas en sentido contrario para que las materias traten de comprimirse contra ellas.

Sin embargo, un tragante demasiado ancho, presenta dificultades para la carga. Así es que, lo más que se ha hecho, es dar á la cuba la forma cilíndrica y nunca se ha llegado á darla la forma de cono truncado con la base mayor arriba, oscilando el diámetro del tragante generalmente entre $\frac{2}{5}$ y $\frac{3}{5}$ del vientre.

118. De los etalajes.—Los etalajes tienen por objeto retardar el descenso de las cargas para que las menas acaben de reducirse y empiece la fusión de las gangas. El descenso será tanto menos rápido cuanto menor sea la pendiente de sus paredes, puesto que las materias se comprimirán contra ellas. Esto tiene el inconveniente de que la corriente gaseosa que sale de la obra, pasará por el centro de los etalajes para ganar las paredes de la cuba y dejará un espacio anular por el cual no penetrará, y donde, si la pen-

diente es pequeña, se acumularán materias que, cayendo luego de golpe, pueden producir irregularidades y entorpecimientos en la marcha. De esto se deduce que será más conveniente aumentar la altura de los etalajes elevando el vientre y dando por consiguiente mayor inclinación á sus paredes.

La inclinación de los etalajes es por término medio de 55° á 70° ; su altura es por lo común de 2^m á $3^m,50$ en los hornos franceses; en los alemanes, generalmente de $1^m,5$ á 3^m ; entre los españoles hay algunos como los de Mieres, la Felguera y Baracaldo, en que excede de 4^m y entre los ingleses algunos en que excede de 7^m .

119. De la obra.—El diámetro de la obra ya hemos dicho (114) que debe ser tanto menor cuanto mayor sea la temperatura que sea preciso obtener para la fusión de los productos. Así es que, cuando se desee obtener fundición blanca, debe tener más diámetro que cuando se vaya á producir fundición gris. Depende también dicho diámetro, como ya hemos dicho anteriormente, de la presión del viento. Cuando ésta no sea superior á $0^m,15$ de mercurio, no es conveniente que exceda de 2^m , y en ningún caso debería ser superior de $2^m,50$. Sin embargo, hay algunos hornos ingleses en que llega y aun excede de 3^m . Con una fuerte presión de viento y minerales fusibles, se le puede dar una gran sección y pequeña altura y con poco viento y minerales refractarios debe aumentarse la altura y darla menor diámetro.

120. Del crisol.—El crisol sirve para contener la fundición y escorias que produce el horno alto, y por lo tanto su capacidad debe estar en relación con la producción y de manera que pueda contener el producto de ocho ó doce horas de trabajo, con objeto de disminuir el número de coladas. Su diámetro, á la altura de las toberas, es igual al de la obra en dicha parte y las demás dimensiones se determinan de manera que resulte la capacidad conveniente.

121. Del perfil y dimensiones en general.—Considerando ahora en conjunto las diferentes partes que

constituyen un horno, debemos decir que esta distinción no tiene en el día la importancia que en otro tiempo se le ha dado, y que por el contrario, las formas más sencillas, dos troncos de conos unidos por su base mayor ó un perfil que tenga la forma de una cuba cuyo mayor paralelo corresponda á la posición que deba tener el vientre, son las que dan mejor resultado.

Se ha observado, en efecto, que en los hornos que tienen el perfil muy exagerado, una obra con paredes casi verticales seguida de etalajes con muy poca pendiente, al cabo de poco tiempo de estar en marcha, á veces en algunos días solamente, se desgasta el ángulo saliente de la obra con los etalajes, y el que forman éstos con la cuba se llena de materias que quedan estacionarias, y por consiguiente el perfil tenderá á modificarse por sí mismo aproximándose más ó menos á una de las formas simples que hemos indicado.

Para poder fijar definitivamente las diferentes dimensiones interiores de un horno alto, debe tenerse en cuenta, además de todo lo que llevamos dicho, la capacidad total que debe tener con arreglo á la producción diaria que se desee obtener. Según la experiencia, dicha capacidad debe de ser de 2 metros cúbicos por tonelada producida en veinticuatro horas cuando las menas son ricas y de fácil reducción, y se trabaja para fundición blanca ó fundición de afino, que no exigen una gran temperatura. Cuando las menas no sean de tan fácil reducción, ó se trabaje para fundición gris, el volumen por tonelada obtenida en veinticuatro horas, debe ser de 3 á 4 metros cúbicos.

Y cuando las menas sean pobres y de difícil reducción, ó se trabaje para fundición gris de moldeo, el volumen puede llegar á 5 ó 6 metros cúbicos.

Pero no es conveniente que el volumen total exceda de 200m^3 , y generalmente son muy contados los hornos que llegan á este límite, si se exceptúan algunos ingleses que tienen más de 500 y de 1000m^3 de capacidad, y en los cuales se comprueba efectivamente que, habiendo excedido de los

límites racionales, la producción ha dejado de ser proporcional al volumen, correspondiendo por cada tonelada diaria de fundición hasta más de 14 metros cúbicos de capacidad interior.

Para terminar lo relativo á las dimensiones y formas interiores de los hornos altos, indicaremos la clasificación que de éstos hace Gruner (1), fundándose en la relación que existe entre su altura y el diámetro del vientre.

122. Clasificación de los hornos, según sus dimensiones relativas.—Llama hornos cortos (trapus), aquellos en que la altura es inferior, ó á lo más igual al triple del diámetro del vientre $\frac{A}{D} \leq 3$. Como tipos de esta clase de hornos, podemos citar los ingleses de Dowlais y de Ormesby, y el español de la Felguera (figs. 10, 11 y 12, lámina II).

Los hornos ordinarios son aquellos en que la relación $\frac{A}{D} > \frac{3}{4}$ y principalmente oscila alrededor de 3,5. Cuando esta relación se separa mucho de la media y llega á descender á menos de 3,2 ó á subir á más de 3,8, los hornos pueden más bién considerarse como cortos ó largos. Por esto hemos incluido al de Ormesby entre los cortos. Como tipos medios de hornos ordinarios, pueden citarse el austriaco de Mariazell (fig. 13, lám. II), y los españoles del Pedroso y Baracaldo (figs. 14 y 15, lám. II).

Finalmente, llama hornos largos (elancés), aquellos para los cuales la relación $\frac{A}{D} \geq 4$. La mayor parte de los hornos altos españoles pueden ser incluidos en este tipo.

Mr. Gruner, teniendo en cuenta principalmente el resultado de la experiencia, cree que los hornos largos son los más convenientes, siempre, sin embargo, que la relación $\frac{A}{D}$

(1) *Traité de Metallurgie*, par M. L. Gruner.

no llegue á ser mayor que C , y recomienda el empleo de los tres tipos siguientes:

| TIPOS | Altura. | Diámetro del viento. | Volúmen total. | $\frac{A}{D}$ |
|--|---------|----------------------|----------------|---------------|
| 1. ^o Para horno con carbón vegetal. | 14 | 3'00 | 60 | 4'66 |
| 2. ^o Para horno con cok y minerales de fácil reducción. | 16 | 4'00 | 140 | 4'00 |
| 3. ^o Para horno con cok y minerales poco reductibles y en gruesos fragmentos... | 18 | 4'50 | 200 | 4'00 |

El horno alto de la fábrica La Constancia, de Barbadillo, y el de Mieres núm. 2 (figs. 16 y 17, lám. II), pueden ser incluidos en estos tipos por sus dimensiones, aun cuando no por su forma, que es la representada en la figura 18, lámina II.

Art. 6.^o—Aparatos accesorios.

123. Los hornos altos necesitan el concurso de varios aparatos para acumular el viento necesario á su marcha, para inyectarlo en su interior, para calentarlo, para recoger los gases producidos, y para distribuir convenientemente las cargas, aparatos de los cuales vamos á dar una ligera idea.

124. Fuelles ó máquinas sopladoras—El simple tiro de un horno alto no es suficiente para desarrollar en la obra la temperatura necesaria para la fusión de los silicatos que constituyen las escorias, y se necesita inyectarle con una presión mayor que la atmosférica, presión que como ya hemos dicho (**113**), varía con la naturaleza de los minerales y combustibles y con la altura del horno, siendo

tanto mayor cuanto más grande sea la resistencia que tiene que vencer. Esto se consigue por medio de los aparatos llamados *máquinas sopladoras*.

Desde el simple fuelle de cuero, las máquinas sopladoras se han ido perfeccionando hasta llegar á las que se usan hoy día, que consisten en un gran cilindro, en cuyo interior se mueve un pistón que actúa generalmente á doble efecto, y se pone en movimiento por una rueda hidráulica ó una máquina de vapor. La extensión de estos elementos no nos permite pasar revista á los diferentes sistemas de fuelles mecánicos ó máquinas sopladoras, tanto horizontales como verticales, que están en uso en las diferentes fábricas, y como ejemplo daremos solamente una ligera descripción de una de las verticales (nuevo tipo), que funciona en el Creusot.

Esta máquina, representada en las figuras 19, 20 y 21, lámina II, se compone de un cilindro soplante de fundición, de tres metros de diámetro, colocado directamente sobre el cilindro motor de la máquina. Los dos pistones tienen un vástago común que es guiado en su movimiento por una fuerte travesía, la cual se mueve á corredera sobre dos montantes, que á su vez sostienen en parte el piso donde reposa el cilindro soplante y á cuyas extremidades se unen las dos manivelas de los dos volantes que tiene la máquina motora. La parte superior y la inferior del cilindro soplante, están rodeadas lateralmente por cuatro cajas *a, a, a, a* (figs. 19, 20 y 21), donde están colocadas las válvulas de admisión y expulsión del aire. Estas válvulas consisten en unas simples fajas de caoutchouc sujetas por uno de sus bordes á la caras verticales interiores de las mencionadas cajas, en cuyas caras hay abiertas varias aberturas longitudinales que pueden ser tapadas ó descubiertas por dichas fajas de caoutchouc, y para limitar su movimiento se coloca por detrás una plancha delgada de palastro *p* como indica la figura 22. El pistón del cilindro soplante es un disco hueco de fundición, y su empaquetadura se compone de dos anillos de cuero replegados en

ángulo recto y sujetos por dos coronas de hierro colado como representa la figura 23.

De esta manera la misma presión del aire comprimido hace adherir la empaquetadura correspondiente á la cara del pistón, donde se comprime el aire contra la superficie interior del cilindro.

Las cuatro cajas de un lado del cilindro, dos superiores y dos inferiores, están en comunicación, por el intermedio de un gran tubo de palastro, con el aire exterior, y en estas cajas las válvulas se abren de afuera adentro. Las otras cuatro cajas comunican igualmente con otro tubo por donde marcha el aire comprimido y sus válvulas se abren de dentro afuera.

Dicho esto, es fácil comprender el juego de la máquina. Supongamos á la derecha las cuatro cajas que comunican con el aire exterior, á la izquierda las que están en comunicación con el tubo que conduce el viento á los hornos altos. y supongamos además que el pistón está en la parte superior del cilindro. Todas las válvulas estarán cerradas por su propio peso y elasticidad; pero al bajar el pistón, se enrarecerá la pequeña cantidad de aire que ha quedado en la parte superior, y la presión atmosférica abrirá las válvulas superiores de la derecha penetrando el aire sobre el pistón; las válvulas de las dos cajas superiores de la izquierda permanecerán cerradas por la mayor presión del aire contenido en ellas. Al propio tiempo, el aire contenido bajo el pistón se comprimirá al descender éste, y en su consecuencia mantendrá cerradas las válvulas inferiores de la derecha que se abren de fuera adentro y abrirá las de la izquierda, pasando al tubo de conducción. Al subir el pistón, se verificará la inversa; el aire penetrará bajo el pistón por las válvulas inferiores de la derecha y el contenido sobre él será expulsado por las superiores de la izquierda.

Si no existiese espacio *nocivo*, el volumen de aire aspirado y expulsado por el pistón á cada vuelta de manivela, es decir, cada vez que sube y baja, sería igual al engendrado por

el pistón en su movimiento; pero como no es posible anular este espacio, el aire que se comprime en él deja de ser expulsado, y al cambiar el pistón de movimiento se dilata retardando la apertura de las válvulas de aspiración. A fin de reducir el espacio nocivo, el pistón lleva las cajas de palastro *m n* (fig. 19), que se introducen en las cajas de válvulas. El curso del pistón es de $2^m,5$, y por consiguiente el volumen engendrado á cada vuelta de manivela sería de 35^m^3 , y á razón de doce vueltas por minuto el volumen de aire expulsado á la presión ordinaria sería de 420^m^3 ; mas por efecto del espacio nocivo, este volumen es bastante menor y en el *Creusot* se estima en 320^m^3 .

Cada motora es de la fuerza de 230 caballos; funciona con expansión y sin condensación, y la distribución del vapor se verifica por medio de cuatro válvulas *Hornblower*.

125. Portaviento.—El aire comprimido se conduce desde la máquina sopladora al horno por el intermedio de un tubo llamado *portaviento*. Los portavientos se construyen generalmente con tubos de hierro colado ó de palastro, perfectamente herméticos, para evitar las pérdidas de viento. Pueden estar enterrados en el suelo ó al aire libre sostenidos por pilares, lo cual tiene la ventaja de poder hacer las reparaciones más fácilmente. Para disminuir las pérdidas de carga, su longitud debe ser la menor posible, y cuando una misma máquina sopladora sirve varios hornos, ha de procurarse que para los que hayan de recibir la misma presión, la longitud de portaviento sea la misma. Para una misma cantidad de viento, la resistencia será tanto menor, cuanto mayor sea el diámetro, y por consiguiente debe darse al portaviento la mayor sección posible.

126. Reguladores.—La corriente de aire producida por las máquinas sopladoras no es perfectamente regular, porque la velocidad del pistón es mayor hacia la mitad que en los dos puntos muertos. Para atenuar este defecto y hacer que la corriente de viento que llegue á los hornos sea lo más uniforme posible, se hace uso de los reguladores.

Los reguladores pueden ser de capacidad variable ó de capacidad constante, en cuyo caso se les suele denominar también reguladores secos.

127. Los reguladores de capacidad variable pueden ser de pistón ó hidráulicos. Los reguladores de pistón consisten en un cilindro de una sección doble por lo menos de la de los cilindros sopladores, abierto por la parte superior, y en el cual se mueve un pistón cargado con pesos convenientemente determinados. Este cilindro interrumpe el tubo del portaviento, y el aire pasa por debajo del pistón. Cuando la presión aumenta, eleva el pistón, lo cual la hace disminuir; y si, por el contrario, disminuye, el pistón baja por su peso y restablece el equilibrio. Este regulador no está generalmente en uso porque la regularización es poco perfecta y no pueden tampoco evitarse escapes de viento á través de la empaquetadura del pistón.

128. Los reguladores hidráulicos consisten en una campana de palastro, cuyo volúmen es diez ó doce veces el de los cilindros soplantes, sumergida por su extremidad abierta en un depósito de agua, y comunicando por la parte superior con el portaviento.

El agua oscila en su interior por efecto de los cambios de presión, y ésta se restablece tanto mejor cuanto mayor sea la capacidad de la campana con relación á la de los cilindros soplantes.

En este regulador no existe ninguna fuga de viento como en el anterior, y el principal inconveniente que presenta es que el aire se carga de humedad; inconveniente que deja de serlo en los climas húmedos cuando el aire está ya saturado.

129. Los reguladores secos ó de capacidad constante, consisten simplemente en una gran capacidad intercalada en el portaviento. El regulador deja pasar constantemente un volumen de aire igual al que recibe; por consiguiente, como las presiones están en razón inversa de los volúmenes, si suponemos, por ejemplo, que el volumen del regulador sea igual á treinta veces el del cilindro soplante, el exceso de pre-

sión de un volumen de aire igual al del cilindro sobre el regulador, se reducirá, al ocupar el volumen de éste, á la treintava parte. Vemos según esto, que los excesos de presión serán tanto menores, cuanto mayor sea la capacidad del regulador, y aun lo será ménos de lo que hemos supuesto; porque el cilindro soplante no ejerce en realidad un exceso de presión más que durante la mitad próximamente del curso del pistón. Generalmente á estos reguladores se les da una capacidad de veinte ó veinticinco veces la del cilindro soplante, cuando la velocidad media de éste es de 1^m á $1^m,20$, y cuando la velocidad puede llegar á 2^m , el volumen del regulador suele ser de treinta á cuarenta veces el del cilindro.

Los reguladores se construyen ordinariamente de palastro y lo más sencillo es transformar el mismo portaviento en regulador, haciendo que su capacidad guarde la relación debida con la de los cilindros soplantes. Se les suele dar un diámetro de 2^m á $2^m,5$ y una longitud proporcional para que resulte el volumen conveniente.

Tambien se han construído reguladores subterráneos de fábrica embetunada, á los cuales pueden darse mayores dimensiones y dejan más libre espacio. M. Gruner cita uno construído por su hermano en el Pouzin (valle del Ródano), en el año 1849, que hoy día se encuentra todavía en buen estado. Pero estas construcciones, si el terreno no es á propósito y no se verifican con un grandísimo esmero, cómo en el ejemplo citado, pueden descomponerse con facilidad produciéndose escapes de viento y las reparaciones son muy dificultosas.

130. Toberas.—El viento es introducido en el interior del horno por el intermedio de unas piezas troncocónicas llamadas *toberas* encastradas en unas bóvedas abiertas al efecto en las paredes de la obra. Las toberas tienen la forma de un tronco de cono hueco cuya extremidad de menor diámetro, denominada *hocico*, penetra en el horno, llamándose *ojo* de la tobera la abertura interior y *pabellón* la parte más ancha. Cuando el horno está alimentado con aire frío, las pa-

redes de la tobera pueden ser sencillas y se construyen de fundición ó de cobre. Pero cuando se trabaja con aire caliente, la temperatura elevada de éste no es suficiente para refrescar la tobera é impedir que se funda, y con este objeto se construye con paredes dobles, por cuyo interior se hace pasar una corriente de agua fría. En este caso pueden construirse de hierro dulce, de bronce ó de hierro colado.

Las toberas de hierro dulce se construyen con dos conos de palastro reunidos entre sí por dos coronas de hierro soldadas en sus dos bases, como indica la figura 24, lám. II. En la base mayor hay practicadas dos aberturas para la colocación de los tubos por donde entra y sale el agua refrigerante.

Las de bronce y fundición se hacen de la misma forma y se funden de una sola pieza, excepto el anillo de la base mayor que se introduce á frotamiento.

Las de bronce tienen la ventaja de oxidarse menos que las de hierro, y las de fundición el de ser más económicas; pero estas últimas tienen el inconveniente de poder romperse y el agua puede producir una explosión.

Algunas toberas se construyen de la siguiente manera: sobre un tronco de cono, cuyas dimensiones sean las del hueco interior, se arrolla en hélice un tubo hueco de hierro dulce y en esta disposición se coloca en un molde cónico de las dimensiones exteriores de la tobera. Llenando el molde de fundición, el tubo quedará aprisionado en ella y de esta manera no hay que temer que si la fundición se rompe pueda verterse el agua en el crisol.

131. Buza.—El aire comprimido del portaviento pasa á las toberas por medio de tubos cónicos de palastro, llamados *buzas*, que penetran en su interior aunque sin llegar al ojo de la tobera con objeto de ser protegidos por éstas. El ojo de la buza se hace un poco menor que el de la tobera y el espacio que queda libre se suele tapar con arcilla ó bien se cierra el pabellón de la tobera con una placa de fundición con una abertura á través de la cual pasa la buza con un ligero frotamiento.

El servicio del horno exige algunas veces que las toberas queden accesibles y para esto es preciso poder retirar las buzas. Con este objeto, cuando el horno marcha con aire frío, la buza está unida al portaviento por el intermedio de una manga de cuero flexible que permite toda clase de movimientos; y cuando marcha con aire caliente se adopta generalmente la siguiente disposición. El portaviento rodea el horno en toda la extensión de las toberas, bien por los conductos subterráneos ó al aire libre por encima de las toberas; frente á cada una de éstas, parte de él un tubo vertical y de este otro horizontal, que es el que contiene la buza. Para poder retirar ésta se le da la disposición representada en la figura 24 y que se comprende á su sola inspección. Un piñón que se hace girar, hace avanzar ó retroceder una cremallera, la cual hace penetrar la buza en el interior del tubo y de este modo se le saca de la tobera.

Para dejar el espacio más libre, después de efectuado este movimiento, se suele también disponer el portaviento de manera que la rama horizontal que lleva la buza, después de retirada ésta de la tobera, pueda girar alrededor del tubo vertical, con cuyo objeto estas dos partes del portaviento tienen una articulación de rodillera.

Cuando se retira la buza debe detenerse también la salida del viento, y con este objeto en el ramal del portaviento correspondiente á cada una de ellas hay dispuestas compuertas ó válvulas que se abren ó cierran cuando conviene.

En la extremidad de la rama horizontal del portaviento opuesta á la buza se dispone una abertura cerrada con una lámina de mica transparente, por la cual puede mirarse el interior del horno á través del ojo de la buza.

132. Utilización de los gases combustibles que llegan al tragante.—Los gases que llegan al tragante de los hornos altos ya hemos dicho (104) que se componen de varios gases combustibles, óxidos de carbono, hidrógeno é hidrógenos carbonados mezclados con ácido carbónico y una gran cantidad de azoe. La proporción de óxido de

carbono varía entre el 20 y 30 por 100, y la mezcla gaseosa puede desarrollar por término medio de 600 á 700 calorías. Según Ebelmen la cantidad de combustible contenido en los gases es próximamente 0,65 del que se consume en el horno. Por consiguiente, se comprende perfectamente la utilidad de quemar estos gases y aprovechar el calor desarrollado en su combustión.

Este calor puede aprovecharse en la cocción de ladrillos, en la de la cal y en la calcinación de los minerales carbonatados. También suele emplearse en ciertos hornos de reverbero. Pero se le emplea preferentemente en el servicio del mismo horno, en la generación de vapor para las máquinas sopladoras y, como ya hemos indicado, en calentar el aire que se inyecta en él.

133. Tomas de gas.—Para poder utilizar los gases que se escapan por el tragante de los hornos altos, es preciso adaptar á éstos ciertos aparatos destinados á recogerlos y conducirlos al lugar donde deban quemarse. La disposición de estos aparatos es sumamente variable; pero en general pueden dividirse en dos clases: aparatos de *tragante abierto* y aparatos de *tragante cerrado*. Los primeros favorecen la tendencia de los gases á seguir las paredes (lo cual hemos dicho que es perjudicial á la marcha del horno), no aprovechan todos los gases desprendidos y para recoger la mayor cantidad posible es preciso aspirarlos por medio de ventiladores ó chimeneas y de este modo es muy fácil que se mezcle con ellos alguna cantidad de aire y se produzcan mezclas detonantes. Así es que hoy día se emplean muy raramente. Por esta razón no los describiremos y nos limitaremos á dar algunas ideas generales sobre los de tragante cerrado y describir la disposición más generalmente adoptada.

Estando cerrado el tragante, los gases saldrán necesariamente por las aberturas practicadas con este objeto, sin necesidad de ser aspirados, y la cuestión está reducida á disponerlas de manera que la corriente no deje de estar regularmente repartida sobre toda la carga antes de salir del horno.

Para satisfacer esta condición, las aberturas de salida tienen que estar simétricamente dispuestas por encima de la última carga, pues el colocarlas más abajo equivaldría á disminuir la altura del horno. La disposición más generalmente adoptada consiste en disponer una serie de conductos en las paredes de la parte superior de la cuba, que comunican todos con uno circular que los rodea, y del cual parte el tubo de conducción; ó bién se ensancha la parte superior de la cuba y en el borde del tragante se asegura una tolva cilíndrica ó en grolongación de las paredes de la cuba, cuyo borde inferior no llega al punto de partida del ensanche de la cuba, sino que deja un espacio anular por donde se escapan los gases.

También con la idea de corregir la tendencia de los gases á subir por las paredes, se ha dispuesto la *toma de gases* en el centro del tragante por medio de un tubo que penetra á más ó menos profundidad.

Pero esto no es suficiente para guiar la corriente gaseosa desde la parte baja de la cuba; si las materias sólidas descienden más compactas por el centro que por las paredes, la corriente gaseosa seguirá éstas y solamente en la parte superior irá á buscar la salida central. La manera de distribuir las cargas es lo único que puede corregir la tendencia de los gases á separarse del eje de la cuba, y con este objeto, los mismos aparatos que cierran el tragante para la toma de gases están dispuestos de modo que permitan la uniforme y conveniente distribución de las cargas.

134. Aparato de tolva y cono.— Entre los diversos medios empleados, el más sencillo y, casi puede decirse, de mejores resultados, es el conocido generalmente por su denominación inglesa de *cup and cone* (tolva y cono). Se compone de una tolva cónica de fundición fija por su borde superior á la plataforma del tragante del horno alto (fig. 25, lámina III), y un cono móvil colocado en sentido inverso y cerrando su abertura inferior. El cono está suspendido de una cadena ó de un marco vertical, que se mueve haciendo girar una palanca de contrapeso con la cual está articulado.

El mineral y combustible se vierten sucesivamente en el espacio anular comprendido entre la tolva y el cono. Cuando se ha vertido una carga, se hace descender á éste, y entonces las materias, resbalando por sus generatrices, son arrojadas contra las paredes de la cuba, donde quedan las partes menudas, y los fragmentos más gruesos caerán rodando hacia el centro, de manera que la columna central tenderá á resultar menos compacta que á su alrededor. Para que el efecto del cono distributor sea eficaz, es preciso que su diámetro no difiera del de la cuba en el mismo nivel en más de 0^m,8 á 1^m. Si la diferencia es mayor, los materiales no podrán llegar á las paredes y se formará un cordón anular cayendo una parte de los gruesos fragmentos hacia el centro y otra hacia aquellas, por las cuales podrán entonces ascender los gases sin dificultad.

Hemos dicho también que la presión de los minerales obligaba al carbón á separarse del centro, lo cual era una grave causa de irregularidad en la marcha. Para remediar este defecto, se han ideado diferentes disposiciones con objeto de cargar los minerales por el contorno y el combustible por el centro; pero con el mismo aparato *cup and cone* puede conseguirse igual resultado, sin más que hacer la carga de carbón inmediatamente después de la de las menas y fundentes, puesto que éstas formarán un embudo cuyo hueco irá á ocupar aquél.

La figura citada representa la disposición de los hornos altos del Creusot. Con objeto de repartir más uniformemente la carga, ésta viene ya arreglada en los vagones representados en *u*, cuyo fondo es cónico y puede dejarse aislado separando la parte cilíndrica. El vagón llega sobre carriles hasta encima del tragante, y en esta disposición otro marco igual al que sirve para manejar el cono obturador eleva la parte cilíndrica y las materias caen en la tolva, quedando ya con una cierta regularidad. Separado el vagón, se hace descender el cono obturador y caerán en el horno como hemos dicho.

Con este aparato la carga se opera muy rápidamente, y como además las materias, mientras caen, obstruyen el espacio que ha quedado abierto, la pérdida de gases es insignificante.

135. Los gases tomados en el tragante de los hornos altos, se conducen al sitio donde debe verificarse su combustión por medio de tubos de hierro colado ó palastro de un diámetro proporcionado á su longitud y al volumen de gases que han de pasar por ellos. En estos conductos se disponen algunos ensanches en forma de cajas, donde por efecto de la menor velocidad que toman en ellas los gases, se depositan los polvos que siempre arrastran procedentes de las materias pulverulentas producidas en el horno alto, las cuales, adhiriéndose á las paredes de los aparatos de caldeo, perjudican al aprovechamiento del calor desarrollado. Debe dárseles al salir del tragante una cierta presión, tanto mayor cuanto más grande sea la distancia que tienen que recorrer, y esto evita el tener que aspirarlos por chimeneas ó ventiladores, lo cual hemos dicho que es peligroso (133).

136. Condiciones á que deben satisfacer los aparatos para la combustión de los gases procedentes de los hornos altos.—La combustión de los gases no puede verificarse convenientemente sino después de haberlos mezclado con la cantidad de aire necesaria, cantidad que para los gases de los hornos altos varía de 0^k , 60 á 0^k , 75 por kilogramo de gas, y los aparatos de combustión están dispuestos de manera que esta mezcla sea lo más perfecta posible. Además, en virtud de la gran dispersión de sus moléculas, ningún gas puede inflamarse en contacto con el aire á una temperatura inferior al rojo, y con mucha menos razón los que provienen de los hornos altos, puesto que la parte combustible está diseminada entre una gran porción de gases inertes. Por consiguiente, los aparatos de combustión de los gases, deben satisfacer también la condición de que éstos se calienten á la temperatura del rojo antes de estar en contacto del aire, sin lo cual se formarían mezclas detonantes.

Esta condición queda satisfecha por el mismo calor que desarrolla el foco de combustión. El gas, al aproximarse por los conductos que le conducen á éste, se calienta á la temperatura necesaria para su inflamación al ponerse en contacto con el aire. Si la corriente del gas y su composición fueran siempre constantes, una vez calentado el foco á la temperatura conveniente (lo cual puede efectuarse, antes de que lleguen los gases, por medio de cualquier otro combustible), el aparato marcharía por sí mismo sin interrupción. Pero la corriente de gases puede sufrir intermitencias, á consecuencia de las cuales el hogar se enfriaría, en cuyo caso la mezcla de los gases con el aire podría producir explosiones, y el aparato no recibiría la temperatura conveniente. Por esta razón, los aparatos en los cuales se emplean como combustible los gases de los hornos altos, deben estar dispuestos para servir, en caso de necesidad, como hogares ordinarios, con su parrilla y cenicero correspondiente. Esto sirve para poder emplear combustible sólido en el caso de que falten los gases, y además para conservar la incandescencia del foco, y asegurar por consiguiente su inflamabilidad, con cuyo objeto se mantiene constantemente encendida sobre la parrilla una ligera capa de hulla ó de cok, y se tiene cerrado el cenicero para moderar la llegada del aire.

137. Para efectuar la mezcla perfecta de los gases con el aire, pueden adoptarse diferentes disposiciones. Una de ellas consiste en hacer llegar los gases al foco por delante de la puerta del hogar en forma de un chorro vertical ensanchado, y practicar en dicha puerta varias aberturas por donde penetrará el aire atravesando el chorro de gas. Las figuras 26 y 27, de la lám. III, representan el hogar de una caldera de vapor (para alimentar las máquinas sopladoras, por ejemplo), en el cual está adoptada esta disposición. El gas viene por un tubo de palastro horizontal á cierta distancia por encima de las calderas, y de él parte otro vertical, que penetra en el hogar por detrás de la puerta. Antes de penetrar, el tubo está aplastado, como indica la figura, de manera que el

gas entra en forma de abanico, cubriendo toda la extensión de la puerta, y viene á inflamarse al contacto del carbón candente extendido sobre la parrilla. El aire penetra por varias aberturas practicadas en la puerta, y es aspirado por la chimenea después de haber atravesado los gases y efectuado su combustión. Los gases inflamados, teniendo que recorrer los conductos que comunican con la chimenea, calientan la caldera más ó menos, según sea su cantidad y composición; y en el caso de que no sean suficientes, se activa, como hemos dicho (136), la combustión del carbón que arde en el hogar.

138. Aparatos para el caldeo del aire que se inyecta en los hornos altos.—Conocida ya la manera cómo debe operarse la combustión de los gases que provienen de los hornos altos, vamos á ocuparnos de los aparatos en los cuales se calienta el aire que se inyecta en ellos, aparatos que generalmente emplean como combustible esos mismos gases.

Estos aparatos pueden clasificarse en dos especies: unos que funcionan por *conductividad*, y otros que funcionan según el principio llamado de la *regeneración del calor*. También se han ensayado algunos en los cuales el aire se introduce en el mismo foco que suministra el calor, en cuyo caso una parte de él entretiene la combustión y calienta el resto; pero este aire, habiendo perdido una parte de su oxígeno, desarrollará menos calor en el horno alto, y por consiguiente, lo que se gana por una parte se pierde por otra. Así es que creemos que este sistema de caldeo está abandonado por completo.

139. Aparatos fundados en la conductividad.—**Aparato de Wasserralfingen.**—**Aparato de Calder.**—Los aparatos fundados en la conductividad se componen esencialmente de un hogar donde se verifica la combustión, en el que están encerrados uno ó varios tubos de hierro colado, por donde circula el aire que debe calentarse. El calor que reciben los tubos es transmitido al aire que pasa por su interior.

Expondremos brevemente las condiciones á que deben satisfacer los aparatos en que se calienta el aire.

La *superficie* de caldeo debe ser indispensablemente proporcional á la temperatura que quiera darse al aire. Si esta superficie es reducida, el aire podrá calentarse á la temperatura deseada, pero para ello será preciso calentar los tubos tanto más cuanto mayor sea la cantidad de aire ó el grado de calor exigido. Esto se verificará á espensas del combustible y de la duración de los tubos, que se destruirán con mucha rapidez si se elevan á una temperatura superior al rojo naciente. Para calentar el aire á una temperatura comprendida entre 300 y 350° debe darse á los aparatos una superficie de calda de 1^m², 20 á 1^m², 50 por metro cúbico al minuto, para 400° y 500° de 3 á 4 metros y para 600° es preciso llegar á 5^m².

Determinada la superficie de caldeo, podrá tomarse arbitrariamente la sección de los tubos y calcular la longitud total de ellos de modo que resulte la superficie exigida. Sin embargo, los tubos no deben ser ni demasiado anchos, ni demasiado estrechos. En efecto, calentándose el aire por su contacto con las paredes del tubo, recibirá tanto más calor cuanto mayor sea la relación entre el perímetro y la sección, y, como esta relación es igual á $\frac{2}{r}$, puesto que los tubos son generalmente de sección circular, se comprende perfectamente que por esta razón los tubos deben ser lo más estrechos posible. Mas por otra parte, á medida que el diámetro disminuye, la velocidad del aire aumenta, con ella el frotamiento y consiguientemente habrá una pérdida de presión. Por consiguiente debe adoptarse un diámetro medio, determinado solamente por la experiencia.

Otra condición que deben llenar estos aparatos, es la de que el caldeo sea *metódico*, es decir, que la corriente gaseosa que calienta y el aire que ha de ser calentado marchen en sentido inverso. Si no se opera de este modo y se hace pasar la corriente de aire en el mismo sentido que la de los gases

quemados, habrá una gran pérdida de calor, pues los gases llegarán á la chimenea próximamente á la misma temperatura adquirida por el aire y si esta es, por ejemplo, de 600°, se habrán desperdiciado de 450° á 500°, porque para el buen tiro de la chimenea es suficiente que los gases entren en ella con una temperatura de 100 á 150°.

Debe, además, tenerse especial cuidado en el ensamble de los diferentes tubos de fundición que constituyen el aparato, pues por sus uniones es por donde se efectúan siempre los escapes de aire. La reunión de las diferentes partes deberá verificarse enchufándolas unas á otras é interponiendo un mastic compuesto de limaduras de fundición amasadas con una pequeña cantidad de arcilla. Las uniones, convendrá establecerlas de manera que no reciban directamente la llama del hogar.

140. Los principales tipos de este sistema son el aparato de *Wasseralfingen* y el de *Calder*.

El aparato de *Wasseralfingen* consiste en una serie de tubos horizontales colocados en varias hiladas paralelas. Cada tubo está unido al que tiene al lado en la misma hilada por un recodo semicircular, y el último de cada hilada está ensamblado de la misma manera al primero de la hilada siguiente. De este modo resulta un conducto único en forma de serpentín, el cual es recorrido de un extremo á otro por todo el aire que se trata de calentar.

El aparato de *Calder*, está constituido por una serie de tubos en forma de sifones. Estos sifones se colocan verticales ó ligeramente inclinados sobre la vertical y sus extremidades inferiores van á parar á dos cajas horizontales paralelas, una de las cuales recibe el aire frío y la otra lo suministra caliente al portaviento que lo conduce á las toberas. El aire, por consiguiente, al entrar en el aparato, se divide en tantas ramas como sifones haya y después se reúne en el portaviento caliente.

Estos dos sistemas han sufrido diversas modificaciones, y existe una gran variedad de aparatos fundados en el mis-

mo principio de la conductividad y que pueden clasificarse en cada uno de estos dos sistemas ó participar de los dos á la vez. Lo dicho creemos que será suficiente para formarse una idea del principio en que están fundados estos aparatos y de la manera cómo deben disponerse. Para más detalles puede verse el álbum de M. Jordan y el *Tratado de Metalurgia*, ya citado, de M. Gruner.

En todos estos aparatos, el combustible generalmente empleado son los gases de los hornos altos, los cuales se queman disponiéndolos como hemos dicho al hablar de su aplicación á la calefacción de las calderas de vapor.

La temperatura máxima que puede darse al aire, es la de 600°, porque correspondiendo esta temperatura al rojo naciente, no es posible que los tubos de fundición resistan una temperatura superior.

141. Aparatos fundados en la regeneración del calor.—Aparato de Couper.—Aparato de Whitwell.—Los aparatos fundados en la regeneración del calor, consisten en un conducto más ó menos sinuoso, formado de ladrillos refractarios, cuyo conducto es primeramente recorrido por los gases en combustión, que le comunican su calor, y después por el aire, que se calienta á su vez tomando el calor que habian almacenado los ladrillos. El volumen de ladrillos y la longitud de los conductos pueden calcularse de manera que los primeros se calienten de modo que comuniquen al aire la temperatura final que éste debe adquirir, y los últimos tomen solamente la temperatura necesaria para que los gases puedan ser aspirados por la chimenea. De este modo, al hacer circular al aire en sentido inverso, éste se irá calentando poco á poco y finalmente saldrá del aparato con la temperatura deseada.

Los primeros aparatos para la calefacción del aire, fundándose en el principio de la regeneración del calor, fueron construídos por M. Couper en la fábrica de Ormesby (Cleveland) hace veinte años.

Para que los ladrillos refractarios puedan resistir la pre-

sión que debe tener el aire que se inyecta en el horno alto, el aparato está encerrado en una torre de palastro, con lo cual la presión interior será uniforme y existirá equilibrio entre las caras interiores y exteriores de los conductos formados por los ladrillos.

Esta torre de palastro, cuyo techo tiene la forma de un casquete esférico, está revestida interiormente de una pared de ladrillos ordinarios y otra de ladrillos refractarios, entre los cuales se interpone una capa de arena para permitir las dilataciones. Esta doble pared, tiene por objeto impedir la oxidación de las planchas de palastro y las pérdidas de calor.

El aparato debe ser doble, con conductos y válvulas para invertir las corrientes. Mientras uno de los aparatos se calienta, el otro cede al aire el calor precedentemente absorbido por los ladrillos. Las dimensiones que tienen ordinariamente estos aparatos, permiten calentar de 150 á 180^m³ de aire por minuto, á la temperatura de 700 á 800°.

Las figuras 28 y 29, lám. III, representan un corte vertical y otro horizontal del aparato. Se compone de un cilindro de ladrillos refractarios *bb* de 1^m,05 de diámetro, colocado excéntricamente con relación al eje del aparato y terminándose en la base de la bóveda que lo recubre.

Sobre varios pilares *p* de mampostería, está dispuesto un piso formado por hierros de *T*, sobre el cual se dispone una especie de tejido de ladrillos refractarios, formando conductos verticales que llenan la torre, rodean el cilindro *bb* y llegan á la base de la bóveda.

En cada aparato existen cinco conductos: por el *A*, se hacen entrar los gases combustibles; por el *B*, el aire que entretiene la combustión, cuyos productos pasan á la chimenea por el *C*. Cuando se quiere calentar el aparato, están abiertos todos estos conductos y se cierran cuando se quiere hacer pasar el aire que debe calentarse; abriendo entonces el *D*, por donde entra el aire frío, y el *E* por donde sale el caliente.

Abriendo la compuerta *n* del conducto *A*, los gases penetrarán en el aparato, y para que se inflamen sin producir mezclas detonantes, por el conducto *B* de entrada del aire, que también está provisto de un registro especial, se introduce en el extremo de una larga barra, una rejilla de alambre llena de cok candente, á cuyo contacto se inflaman los gases.

Estos ascienden ardiendo por el conducto *b b*, llenan la bóveda *d d*, y las llamas bajan á través de los ladrillos, donde se enfrían calentando á éstos, llegando el humo con una temperatura de 100 á 150° al conducto *C*, por donde se escapa á la chimenea.

Cuando los ladrillos colocados en la parte superior de la torre se han calentado suficientemente, lo cual se reconoce por varias miras practicadas en ésta, se cierran las compuertas de gas y de aire, y luégo la que comunica con la chimenea. Después se abre la compuerta *D* del conducto de viento frío, y la *E* del portaviento caliente. El viento se calentará en sentido inverso que lo habían hecho las llamas. Al propio tiempo se ha efectuado el movimiento contrario en el aparato conjugado. Es decir, que constantemente uno de los aparatos se está calentando y el otro calentando el aire. Ordinariamente, al cabo de dos horas, debe volver á invertirse el juego de las válvulas.

El aparato tiene 8 metros de altura, y 7^m,9 de diámetro.

El principal inconveniente del aparato de Couper, es la dificultad de limpiarlo. Como hemos dicho, los gases del horno alto arrastran siempre una gran cantidad de cenizas en forma de polvo impalpable, las cuales se acumulan sobre los ladrillos, y obstruirán los conductos si no se desollinan de tiempo en tiempo.

Para efectuar esta operación, se detiene la marcha del aparato, se abre la tapadera *f*, así como el conducto *B* y las aberturas *a a*. Cuando el aparato está suficientemente frío, se introduce un hombre por la abertura *f*, y con un cepillo

suspendido de una cadena desollina todos los conductos verticales, haciendo caer el polvo adherido á ellos, que otro hombre atrae por las aberturas *a a*. Esta operación puede hacerse sólo cada seis meses, si se tiene la precaución de tirar de cuando en cuando varios pistoletazos en el interior del aparato, los cuales, por la vibración producida, hacen caer la mayor parte de los polvos, que son extraídos por las aberturas *a a*.

Este sistema de limpieza obliga á aumentar el número de los aparatos, pues si no hubiera más que dos por cada horno, habría necesidad de detener la marcha de éste mientras se efectuase aquélla.

Cuando no hay más que un solo horno alto, esto es realmente un grave inconveniente; pero cuando son varios los que sirven á la vez, si todos los aparatos de calefacción del aire dan el viento caliente á un solo portaviento común que lo distribuya en todos ellos, bastará con un solo aparato suplementario para poder limpiarlos todos sucesivamente. Así es que, por ejemplo, no se necesitarán más que trece aparatos para seis hornos.

142. El aparato de *Whitwell*, posterior al de Couper, se diferencia de éste en que los conductos forman un largo serpentín de ramas verticales, que es recorrido sucesivamente por las llamas de los gases y por el aire, por lo cual la velocidad de éste es mucho mayor que en el aparato Couper, en que el aire recorre solamente una serie de conductos cortos, y por consiguiente la pérdida de carga es mucho menor, habiendo demostrado M. Gruner en una Memoria sobre los aparatos de aire caliente (1), que la pérdida de presión en los aparatos de Couper, es cuarenta veces menor que en los del sistema *Whitwell*.

La ventaja de los aparatos de *Whitwell*, es su fácil limpieza, que puede efectuarse por encima de la bóveda, sin interrumpir su marcha.

(1) *Annales des Mines*, 1872, tomo II.

En el Creusot adoptaron primeramente los aparatos del sistema de Couper, luégo un sistema mixto de *Whitwell* y *Couper*, que atenúa los inconvenientes de los dos; pero, finalmente han vuelto á adoptar el primero.

Art. 7.^o—Trabajo del horno alto.

143. Manera de encender el horno—Construído el horno alto, es preciso desecarlo completamente antes de empezar á operar en él.

Si no se hiciera así, la alta temperatura que se desarrolla agrietaría los materiales y se destruiría rápidamente. La camisa debe irse calentando gradualmente, y poco á poco hasta llegar á la temperatura normal que debe tener el horno, porque los materiales refractarios que lo constituyen, siendo malos conductores, se dilatarían desigualmente si el calor no fuera progresivo, produciéndose, por lo tanto, grietas, que comprometerían gravemente su solidez y duración.

Cuando el horno está construído completamente de nuevo, y particularmente cuando el revestimiento exterior tiene mucho espesor, debe secarse éste antes de construir la camisa. Pero cuando el revestimiento exterior es más sencillo, como, por ejemplo, en los hornos forrados de planchas de palastro, ó si no se ha hecho más que reemplazar la camisa, entonces la operación se verifica de una sola vez cuando el horno está terminado.

La operación de secar y encender los hornos altos se verifica de una infinidad de maneras, estando reducida la cuestión á elevar su temperatura gradual y paulatinamente. Como ejemplo, tomaremos de la *Metalurgia* de D. Luis Barinaga la descripción de esta operación en los hornos altos de la ferrería de Beasain (Guipuzcoa).

«Concluida la construcción del horno alto, y después que se ha dejado secar durante el tiempo que lo permitan las necesidades de la fábrica, se procede á darle fuego. Para esto

se cierra completamente la delantera con un muro de ladrillos, en el cual se deja un agujero de un decímetro cuadrado, y á fin de evitar que el crisol se deteriore por la acción brusca y muy directa del calor, se revisten la plaza y los costeros con ladrillos puestos de plano sobre ellos; se cierran herméticamente las aberturas de las toberas y se arrojan por el tragante unas cuantas brazadas de virutas y un poco de carbón que debe llenar la obra y los etalajes. Se introduce luégo por el agujero del muro de la delantera un espetón hecho ascua que inflama las virutas, y en virtud del tiro natural determinado por la forma de la cuba, que sirve en estos momentos de chimenea, se enciende poco á poco el carbón. En seguida se llena toda la cuba de combustible y se tapa el tragante con una chapa de hierro que tiene una pequeña abertura, reduciendo también la sección del orificio que existe en el muro provisional de modo que no quede más que un agujero de 2 á 3 centímetros de diámetro. Se mantiene el horno en esta disposición durante el día, y cuando llega la noche, se cierran ambos orificios, volviéndolos á abrir á la mañana siguiente, y reponiendo en el horno el carbón consumido, cuya cantidad viene á ser de unos 8 hectólitros por veinticuatro horas. Estas operaciones se repiten del mismo modo durante quince días, al cabo de los cuales se destapa del todo el orificio inferior y se introduce por él una barra, que se enrojece más ó menos, según la temperatura del aparato, dando á conocer por su aspecto si ésta es la bastante para comenzar lo que se llama el *emparrillado*.

»Llegado el momento oportuno para esta operación, se colocan sobre el bastidor de la delantera unos garfios, y en éstos se apoya una fuerte barra de hierro que queda á un nivel poco más bajo que la parte inferior de la timpa; entre ésta y la barra, apoyándose en la última, se coloca una serie de espetones ó barras largas que llegan á la trasera y dejan en la parte anterior una porción de su longitud, bastante para poder colocar sobre ellas unos cuantos lingotes de hierro, que sirven de contrapeso al carbón que descansa sobre

la parte introducida en el horno. Se derriba después el muro que se había construído en la delantera y se limpia el crisol de las cenizas que se han acumulado en él por la combustión del carbón en los primeros quince días. En la colocación de la rejilla y la limpieza del crisol se emplea una media hora.

»Abierta ya la entrada del aire al interior de la cuba por el antecrisol, la combustión del carbón se aviva notablemente y las paredes del horno van adquiriendo la temperatura elevada que hace falta para las reacciones; así se mantiene el aparato durante dos horas, y transcurridas éstas se quita el emparrillado, se vuelve á fabricar la delantera y se hace la primera carga de mineral y fundente, que consiste en 150 libras de mena y 35 de castina, dejando el horno cerrado durante tres horas más.

»Al cabo de las tres horas se vuelve á destapar el crisol y á poner el emparrillado, y así se continúa haciendo la limpieza del crisol y volviendo á dejar que desciendan las materias cargadas cuatro veces al día, y reponiendo por el tragante el carbón que se consume y el mineral que descende, cuya cantidad se va aumentando respecto á la de combustible, hasta llegar á la carga normal, sin más precaución que la de hacer que el lecho de fusión sea siempre básico al principio, á fin de que las primeras escorias sean bien líquidas y no produzcan obstrucciones en el crisol. A los seis días se presenta ya á la altura de las toberas la primera carga de mineral y hay que empezar á dar viento.

»Cuando llega el momento de empezar á soplar, se limpia por última vez el crisol de las cenizas que hay en él, se coloca la dama y la placa que la recubre, se echa en el antecrisol carbón encendido hasta el nivel de ésta, se destapan las toberas y se ponen en los agujeros unas buzas pequeñas por las que se introduce viento á la cuarta parte de la presión ordinaria. Cada dos ó tres horas se quita el cisco que hay en el antecrisol, se remueven con rodillos las materias líquidas para que no se adhieran costras á la plaza ni á los costeros,

y al cabo de doce ó catorce horas se hace la primera sangría, que generalmente es de hierro colado blanco.

»A medida que va pasando tiempo, se van sustituyendo las buzas con otras de mayor diámetro, y aumentando la presión del viento progresivamente, hasta que al cabo de ocho días, el horno recibe toda la cantidad de aire que puede recibir á la presión normal que le pueden comunicar los fuelles, que es de 4 centímetros de mercurio.»

144. Personal empleado.—Estando el horno en marcha, su trabajo no puede interrumpirse ni de día ni de noche. Se necesitan por consiguiente dos cuadrillas de operarios que se relevan cada doce horas.

Cada cuadrilla se compone ordinariamente de un fundidor, un ayudante, uno ó dos cargadores, un cierto número de peones para retirar las escorias, recoger los lingotes y conducir al pié del montacargas los vagones cargados de mineral ó de combustible, y además el personal necesario para pesar las cargas. Este último servicio está desempeñado en el Creusot por mujeres; pues las cargas no sólo deben ser uniformes en peso, sino en calidad, y para esto deben escogerse los trozos de mineral de manera que en cada carga tengan la misma composición media que el total que se ha de introducir en el horno; trabajo de cierta minuciosidad y delicadeza, para el cual es muy á propósito el bello sexo.

145. Modo de efectuar las cargas.—Las primeras materias, minerales y combustibles, se introducen por el tragante á intervalos regulares, que una vez determinados, deben permanecer constantes durante toda la duración del trabajo.

Para la regularidad de la marcha, es preciso también que la cuba permanezca constantemente llena próximamente hasta cerca del tragante, no debiendo dejarse nunca un intervalo mayor de 1^m á 1^m,50. Con cuyo objeto, por un agujero practicado al lado de la tapa del tragante, pasa una varilla de hierro con su extremidad inferior recodada, con la

cual el cargador sonda para averiguar la distancia á que se encuentra la última carga introducida.

Generalmente las menas y fundentes se cargan de una vez, mezclados en las proporciones convenientes, é inmediatamente después se introduce el combustible. La carga de éste debe ser constante en un mismo horno y regularse de manera que no sea demasiado grande, para no enfriar la cuba, ni demasiado pequeña, para no ser atravesada por los minerales de la carga posterior.

Las cargas de carbón deben apreciarse por el volumen y no por el peso, pues el peso de una misma cantidad, particularmente de carbón de leña, puede variar entre límites bastante notables en virtud de su facultad higrométrica. El cok, que es menos higroscópico, puede apreciarse al peso, sobre todo cuando los hornos en que se prepara producen solamente la cantidad necesaria para el consumo de los hornos altos, y por lo tanto, se le emplea siempre recién preparado y en idénticas condiciones.

Salvo varias excepciones, las cargas de carbón varían según los hornos y su marcha entre 5 y 10 hectólitros de carbón vegetal y entre 8 y 20 de cok.

Las cargas de mena y fundentes no son, como las de carbón, constantes para un mismo horno. Se las hace variar según la composición y riqueza de las menas y la clase de productos que se desee obtener. Aproximadamente puede decirse que varían entre el doble y triple del peso de carbón. Deben calcularse analizando las menas y corregirlas después por medio de tanteos en vista de la marcha del horno.

El número de cargas que deben efectuarse por cada veinticuatro horas varía en los diferentes hornos, pues es diferente la velocidad con que descenden, y ya hemos dicho que la cuba debe tenerse constantemente llena. Así es, que mientras que hay hornos que cargan de hora en hora, hay otros que lo efectúan de media en media hora. En un mismo horno, y con las mismas materias, el número de cargas será necesariamente tanto mayor cuanto menores sean éstas y

mayor la temperatura desarrollada. Si se repiten con mucha frecuencia, habrá más desperdicios de gases por el tragante; pero por otra parte, si para hacerlas menos frecuentes se emplean mayores cargas, éstas enfriarán la cuba y retrasarán las reacciones que deben producirse. Por consiguiente es preciso saber atenerse á un punto medio.

146. Sangría.—Tampoco puede decirse nada en absoluto sobre el numero de sangrías que han de efectuarse al cabo del día. La sangría no debe hacerse hasta que el crisol esté lleno de fundición, y esto se verificará tanto más pronto cuanto menor sea la capacidad de éste con relación á la total del horno y á la rapidez con que se verifiquen la reacciones. Generalmente se efectúa una sangría cada ocho horas, pero hay algunos hornos en que no se hacen más que dos cada veinticuatro horas, y otros en que se repiten con más frecuencia. En algunas fábricas gradúan el número de sangrías por el de cargas efectuadas; pero si el horno marcha bién, éstas deben hacerse con intervalos iguales, y por consiguiente, lo mismo sucederá con las sangrías; además, el fundidor no debe preocuparse de lo que hacen los cargadores en lo alto del horno, los cuales deben desempeñar su trabajo regular y uniformemente.

El antecrisol se tiene lleno de carbonilla hasta el nivel de la dama y cubierto con una plancha de hierro para evitar que el viento se escape por debajo de la timpa; á pesar de esto, se escapan por entre el carbón unas llamas azules que cesan cuando las escorias han llegado al nivel de la timpa. Entonces el fundidor separa la plancha de hierro, y con un espetón en forma de espátula, revuelve la carbonilla empapada de escorias y limpia perfectamente los costeros y la plaza para que no se adhieran costras, y las escorias empiezan entonces á derramarse por la escotadura abierta en la parte superior de la dama. Después introduce otro garfio más largo, con el cual reconoce y limpia perfectamente todas las paredes del crisol, atrayendo hacia el antecrisol las escorias que no se encuentran perfectamente fundidas. Debe procurar

que éstas corran constantemente al exterior, para lo cual, con auxilio del ayudante, arranca constantemente con un garfio las que, por el contacto con la dama, tiendan á solidificarse. Si por el contrario se presentan demasiado fluidas y el viento trata de escaparse por debajo de la timpa, echa carbonilla en el crisol para que tomen compacidad, dejando libre solamente la escotadura de la dama para que sigan vertiéndose al exterior.

Cuando el crisol está lleno de fundición, empieza ésta á salir por entre la carbonilla y entonces ha llegado el momento de efectuar la sangría. Para esto se arroja más carbonilla sobre la dama, se iguala, apelmaza y se vuelve á recubrir con la plancha de hierro. Las escorias de que la carbonilla está empapada, se solidifican en este caso é impiden la salida del viento si se continúa soplando mientras se efectúa la sangría; pero generalmente durante esta operación se detiene el viento. El maestro, con un espetón de punta acerada, golpea y destruye el tapón de arcilla que cierra la piquera, y la fundición empieza á correr por la reguera abierta al pie de ésta hasta los moldes en que se solidifica. Con las últimas partes de fundición, salen del crisol las escorias que las recubren, y para que éstas no llegen á los moldes, se interpone en la reguera una plancha de hierro con una escotadura inferior (fig. 30, lám. III), por donde pasa solamente la fundición, y las escorias que sobrenadan se las desvía por otra reguera lateral hasta el sitio en que deban verterse.

Las escorias pueden recogerse de diferentes maneras. Pueden verterse en una hondonada del terreno donde de antemano se colocan varias barras de hierro encorvadas, á las cuales se agarran, y por medio de ellas se las extrae con gruas ó cabrestantes. Pueden también, á medida que se desparraman por el suelo, arrojar sobre ellas un chorro de agua, con lo cual se solidifican en forma de arena y se cargan después á paladas en los vagones que deban retirarlas, y por último, pueden también recogerse directamente sobre vagones

especiales compuestos de planchas de palastro, cuyos bordes pueden rebatirse.

Cuando la fundición debe moldearse directamente, si el molde es de grandes dimensiones, se coloca en una fosa practicada cerca del horno, y la fundición es conducida desde el horno por una reguera hasta el borde de la fosa y desde aquí al bebedero del molde por una canal de hierro revestida de arcilla; si son objetos pequeños los que han de moldearse, se recibe la fundición en calderos revestidos de arcilla, los cuales se conducen con gruas ó por vías férreas al lugar donde se encuentran los moldes. Esto mismo se efectúa cuando la fundición está destinada á ser afinada directamente en los convertidores Bessemer.

Si la fundición debe emplearse para ser afinada ó para el moldeo en segunda fusión, se cuela en forma de lingotes, que generalmente tienen de 50 á 60 centímetros de largo por 10 á 12 de escuadría. Los moldes para éstos se practican con arena en el mismo piso del taller, con cuyo objeto se le da una ligera pendiente. A partir de la piqueta se forma una reguera, á un lado y otro de la cual se practican otras que contienen las que deben formar los moldes de los lingotes. La figura 31 da una idea de esta disposición. Las comunicaciones entre las regueras laterales y la principal están tapadas con arena y se descubren primeramente las más distantes del horno. Cuando éstas están llenas, se van descubriendo con una pala las más próximas, y cuando todas lo están, se arroja sobre ellas una poca de arena.

Terminada la sangría se acaba de quitar toda la arcilla que contiene la piqueta, se da viento para limpiar bién el crisol y por último se vuelve á tapar bién la piqueta con una bola de arcilla que se ataca con una barra de hierro, y la operación continúa del mismo modo hasta que deba hacerse otra sangría.

147. Manera de apagar el horno.—El horno, como hemos dicho, debe marchar sin interrupción hasta que por su mal estado sea preciso repararlo de nuevo. Cuando

llegue este caso y sea preciso apagarlo, no deberá hacerse esto dejando de introducir nuevas cargas, porque la temperatura irá descendiendo y llegaría un momento en que las materias fundidas, que llenan la obra, se solidificarían antes de llegar al crisol, formando una masa difícil de extraer. Lo que debe hacerse cuando sea preciso apagar el horno, es sustituir las cargas de menas y fundentes por cargas compuestas solamente de fundentes. Como éstos no pueden fundirse solos, cuando lleguen al nivel de las toberas habrá la seguridad de que no existen en el horno materias fusibles y puede sin inconveniente suprimirse el viento y cerrar todas las aberturas para detener la combustión.

Art. 8.º—Naturaleza de los productos.

148. Reasumiendo hasta cierto punto varias consideraciones diseminadas en todo lo que llevamos dicho, vamos á analizar los productos obtenidos en el horno alto, productos que están en relación con el combustible empleado, la naturaleza de las escorias y la marcha del horno.

149. Influencia del combustible.—Sabemos que puede emplearse el aire frío y el aire caliente. Cuando se emplea el aire frío es preciso emplear un combustible que pueda desarrollar una gran temperatura, y, por lo tanto, es preciso que contenga una gran cantidad de carbono, lo cual excluye los combustibles no carbonizados, haciéndose uso solamente del carbón vegetal ó del cok.

El carbón vegetal es mucho más puro que el cok, y por lo tanto, puede decirse que no introduce sustancias extrañas en el hierro colado (si se exceptúa el carbono indispensable para su constitución). Así es, que cuando se quieran obtener productos de la mejor calidad, deben tratarse minerales muy puros con carbón vegetal. Las mejores fundiciones obtenidas con cok, no pueden competir con las que pueden producirse con carbón vegetal; pero en cambio, siendo éste más caro que el primero, las fundiciones con carbón vegetal resultan á un

precio más elevado que las obtenidas con cok, y no deben emplearse más que para el moldeo de piezas que tengan que ser muy resistentes, para la construcción de cañones, por ejemplo, ó para ser afinadas, en el caso que se desee obtener hierros ó aceros de calidades especiales, como para la fabricación de hojas muy finas, en que es preciso una gran maleabilidad. Cuando los minerales no son puros, no debe emplearse el carbón vegetal, pues el producto no dejaría de ser impuro, y en cambio resultaría más caro. En este caso, que es lo más común, se emplea el cok.

La economía que se obtiene por el empleo del cok en vez del carbón vegetal, es algo menor que la que resultaría teniendo en cuenta solamente la diferencia de sus precios, porque el cok, siendo siempre algo sulfuroso, es preciso aumentar la proporción de castina para eliminar el azufre, y resultando las escorias menos fusibles, se hace necesario aumentar la proporción de carbón. Así es que, según Flachot, se necesita emplear de 1300 á 2000 kilogramos de cok por tonelada de fundición producida, mientras que con carbón vegetal la proporción oscila entre 1000 y 1300 kilogramos.

Con el aire caliente, como sabemos (**109**), las fundiciones resultan siliciosas, de manera que con el carbón vegetal, aunque sea más económico, el aire caliente no dará tan buenos productos como el frío. Puede, sin embargo, emplearse el aire caliente con economía, y sin perjudicar la calidad de la fundición, por la mezcla de leña con carbón, de modo que la temperatura no pueda elevarse á la necesaria para reducir la sílice.

Como con el cok no se trata en general de obtener productos de calidad superior, y lo que se busca principalmente es la economía, el empleo del aire caliente está muy generalizado con esta clase de combustible, y perjudica menos á la calidad de la fundición obtenida.

Puede también hacerse uso de la hulla cuando el horno está alimentado con aire caliente; pero la mayor parte de las hullas contienen impurezas, y son muy raras las que pueden emplearse sin perjudicar la calidad de la fundición.

150. Variedad de los productos según el grado de fusibilidad de las escorias.—Si se quiere obtener fundiciones poco siliciosas, se necesita hacer que baje la temperatura en la obra, lo cual producirá una economía de combustible. Para esto, es preciso hacer las escorias muy fusibles reduciendo la proporción de castina; pero las escorias serán ferruginosas, lo cual constituye una pérdida para la fábrica. Si se quiere reducir esta pérdida, habrá que hacer lo contrario, es decir, que las escorias sean poco fusibles; pero entonces la temperatura será más elevada y aumentará la proporción de sílice reducida. En general esto es lo que se hace en vista de la economía.

Algunas veces, sin embargo, se hace uso de escorias fusibles, perdiendo el hierro que pasa á ellas, para la obtención de fundiciones de afino. La fundición será más pura, tanto más blanca, cuanto menor sea la temperatura, y se afinará mejor y con menos gasto de combustible. De modo que el menor gasto de combustible en el horno, y durante la afinación, á más de la mejor calidad del producto, podrá compensar el hierro que se ha perdido en las escorias.

151. Influencia de la marcha del horno sobre la calidad de los productos.—La marcha de un horno alto es el conjunto de los fenómenos que acompañan á la producción de la fundición.

Cuando la marcha es regular, se la puede referir á tres tipos que se llaman: *marcha caliente*, *marcha fría* y *marcha intermedia*, nombres que corresponden á la temperatura desarrollada en la obra.

152. Con la marcha caliente, se obtiene siempre un hierro colado muy carburado. Tardando más tiempo en solidificarse la fundición, una gran parte del carbono pasa al estado de grafito. Con esta marcha, una gran parte del azufre pasa á las escorias, de manera que es conveniente emplearla cuando los minerales ó combustibles sean sulfurosos. El producto obtenido, es por lo tanto fundición gris, y tanto más grafitosa cuanto más caliente sea la marcha. El silicio con-

tenido, aumentará también en la misma proporción. La reducción del mineral es más completa, y por lo tanto conviene también cuando los minerales son difícilmente reductibles.

153. Con la marcha fría, se obtiene una fundición pobre en carbono. Si la temperatura es muy-baja, la fundición es muy poco carburada, una fundición blanca cavernosa que contiene relativamente mucho azufre, si los minerales ó combustibles son algo sulfurosos y produce por consiguiente al afinarla hierros de mala calidad, porque durante la afinación es más difícil hacer desaparecer el azufre que el silicio. Además, como ya hemos dicho, se saca menos producto de las menas, á causa del hierro que pasa en las escorias. Por consiguiente, no debe trabajarse para fundición blanca, sino con minerales fácilmente reductibles y no sulfurosos y cuando la economía de combustible en el horno y en la afinación compensen el mayor consumo de mena.

Los minerales manganesíferos son los más á propósito para obtener esta clase de fundición.

154. Con la marcha intermedia, se obtienen productos intermedios, bién una fundición gris clara, ó bién una fundición mezclada ó manchada. Esta última clase de fundición se obtiene generalmente á causa de emplear menas que no se reducen y carburan al mismo tiempo, porque son de naturaleza química diferente ó porque los pedazos son de desigual grueso ó densidad. En este caso se producirá simultáneamente fundición gris y fundición blanca, que se mezclarán en el crisol.

155. Dependiendo la naturaleza de los productos de la marcha del horno, es muy importante saber cuáles son los caracteres que distinguen una marcha de otra. De este modo podrá saberse de antemano cuál es la clase de fundición que se va á obtener y podrá corregirse la marcha si se juzga necesario.

El aspecto de las escorias da un primer indicio de la marcha del horno. Cuando la temperatura es poco elevada,

es decir, cuando la marcha es fría, la escorias son más ferruginosas que cuando es caliente. Por el color de ellas puede apreciarse la cantidad de hierro que contienen: si son de un verde pálido, contienen una pequeña cantidad, y cuando son de un verde oscuro tirando á negro, es señal que el hierro existe en ellas en proporción bastante notable. Su densidad, además, es tanto mayor cuanto más grande es la cantidad de hierro contenido en ellas. Con la marcha caliente son, pues, más ligeras, ordinariamente viscosas y al solidificarse toman el aspecto de la porcelana.

El examen de las materias contenidas en el interior de la obra, proporciona también útiles indicaciones para conocer la marcha del horno. Observando dicho interior á través de la mira practicada en el recodo del portaviento frente al ojo de la buza, después que la vista se ha acostumbrado á la intensa luz que existe, se verán las materias de un color blanco deslumbrador, las escorias bien fluidas y las toberas limpias en el caso de una marcha caliente. Si por el contrario la marcha es fría, el color de las materias será menos vivo y las escorias mal fundidas y viscosas aparecerán pegadas á las toberas formando en el hocico como especie de estalactitas.

Además de estos fenómenos, el desprendimiento más ó menos vivo y regular de los gases que se escapan por el tragante; la llama más ó menos viva que sale de éste ó por la timpa; el descenso de las cargas más ó menos rápido y regular, pueden guiar al ingeniero práctico al conocimiento de la marcha del horno.

156. También se distinguen otros dos tipos de marcha, que comprenden á las tres que hemos mencionado: la marcha *seca* y la marcha *cruda*. La marcha seca es una marcha sumamente caliente. Las fundiciones obtenidas son excesivamente grafitosas y contienen una gran proporción de silicio; son por consiguiente de muy mala calidad y resultan caras por el mayor consumo de combustible.

La marcha seca proviene de un exceso en la proporción de combustible, y en que las escorias son demasiado refrac-

tarias, generalmente por exceso de castina, y para cambiarla bastará disminuir la proporción de ésta.

La marcha cruda es, por el contrario, una marcha muy fría. Algunas veces la temperatura es tan baja, que las toberas se ven de un color rojo sombrío. El producto es una fundición blanca cavernosa, muy impura, impropia para el moldeo y hasta para la afinación.

Esta marcha es debida generalmente á un exceso en la carga de minerales; bastará, por consiguiente, para modificarla, disminuir la proporción de éstos ó aumentar la de combustible.

Aunque siempre debe evitarse una marcha seca, hay casos, sin embargo, en que debe trabajarse con una elevadísima temperatura. El ferro-manganeso, que se emplea en la fabricación del acero, no ha podido obtenerse en los hornos altos hasta después de la invención de los aparatos Couper que, calentando el aire á una elevada temperatura, permiten desarrollar en el horno la necesaria para la reducción completa del manganeso.

157. Para la fabricación de este producto se emplean los minerales manganésíferos con la proporción conveniente de hierro en limaduras ó torneaduras, y se comprimen en moldes de fundición, después de haber rociado la mezcla con una disolución amoniacal ó con un ácido diluido. La reacción desarrollada produce una elevación de temperatura, y la masa adquiere la suficiente consistencia para poder ser empleada como mena en el horno alto. A ésta se agregan los fundentes convenientes, según la naturaleza de la ganga, y de modo que resulten escorias básicas para evitar la reducción de la sílice, con cuyo objeto se emplea además el espato fluor, que formará fluoruro de silicio, que se marchará con los gases, y quedará reducido á cal. Como hemos dicho, el aire debe inyectarse calentado á la mayor temperatura posible, y la proporción de carbón debe elevarse igualmente hasta 200 ó 250 por cada 100 kilogramos de producto obtenido, en vez de 100 á 120 que bastan ordinariamente para producir 100 kilogramos de fundición.

158. Clasificación de los hierros colados.—

Las diferentes clases de fundición se clasifican por números, llamando número 1, á la más oscura y grafitosa, y números 2, 3, 4, 5 y 6, á medida que van siendo más claras. Esto respecto á las fundiciones grises y mezcladas, pues las fundiciones blancas suelen designarse por el aspecto de su fractura: fibrosa, granulosa, cavernosa ó especular.

La clasificación de las fundiciones no puede, sin embargo, ser idéntica en todas partes, y en cada fábrica se numera según la naturaleza de los productos obtenidos. A continuación damos como ejemplo la clasificación de los hierros colados expuestos por las fábricas de Terre-noire y Creusot, en la Exposición de París en 1872.

CREUSOT

Fundiciones de afino para hierro.

| COMPOSICION. | NÚMEROS DE LAS FUNDICIONES | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Carbono total..... | 1,680 | 2,587 | 2,789 | 3,240 | 3,122 | 3,380 | |
| Silicio..... | 0,702 | 1,076 | 1,650 | 1,900 | 1,990 | 2,120 | |
| Manganeso..... | 0,294 | 0,406 | 0,864 | 1,200 | 1,744 | 2,600 | |
| Fósforo..... | 1,608 | 0,749 | 0,580 | 0,374 | 0,195 | 0,065 | |
| Azufre..... | 0,505 | 0,319 | 0,223 | 0,122 | 0,065 | 0,045 | |
| Hierro..... | 95,211 | 94,863 | 93,894 | 93,163 | 92,884 | 91,790 | |
| FUNDICIONES PARA ACERO | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Carbono total. | 3,700 | 3,350 | 3,350 | 3,452 | 3,200 | 3,050 | 2,621 |
| Silicio..... | 2,200 | 2,320 | 2,269 | 2,180 | 2,136 | 1,800 | 1,208 |
| Manganeso ... | 4,086 | 4,160 | 3,888 | 3,660 | 3,492 | 3,250 | 2,566 |
| Fósforo..... | 0,053 | 0,055 | 0,056 | 0,049 | 0,054 | 0,055 | 0,050 |
| Azufre..... | 0,035 | 0,034 | 0,040 | 0,045 | 0,045 | 0,075 | 0,087 |
| Hierro..... | 89,926 | 90,081 | 90,397 | 90,614 | 91,073 | 91,770 | 93,468 |
| FUNDICIONES PARA MOLDEO | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| Carbono total. | 3,450 | 3,215 | 3,190 | 2,950 | 2,990 | | |
| Silicio..... | 2,750 | 2,544 | 2,405 | 2,100 | 1,812 | | |
| Manganeso ... | 0,544 | 0,565 | 0,588 | 0,540 | 0,388 | | |
| Fósforo..... | 0,772 | 0,634 | 0,710 | 0,615 | 0,680 | | |
| Azufre..... | 0,074 | 0,073 | 0,082 | 0,096 | 0,120 | | |
| Hierro..... | 92,410 | 92,969 | 93,025 | 93,699 | 94,010 | | |

TERRE-NOIRE

| FUNDICIONES DE MOLDEO | METALES POR 100. | | | | | MATERIAS EXTRAÑAS POR 100. | | | |
|--|------------------|-----------|----------|------------|--------|----------------------------|-------------------|---------|----------|
| | Hierro. | Manganeso | Silicio. | Tungsteno. | Cromo. | Grafito. | Carbono combinado | Azufre. | Fósforo. |
| Fundición núm. 1..... | 92,17 | 1,25 | 2,25 | » | » | 3,25 | 0,94 | 0,02 | 0,05 |
| » núm. 2..... | 92,98 | 1,05 | 1,95 | » | » | 2,55 | 1,23 | 0,04 | 0,05 |
| » núm. 3..... | 93,85 | 0,95 | 1,75 | » | » | 1,95 | 1,52 | 0,063 | 0,047 |
| » núm. 4..... | 94,58 | 0,654 | 1,55 | » | » | 1,15 | 2,08 | 0,071 | 0,042 |
| » núm. 5..... | 94,15 | 0,583 | 1,45 | » | » | 0,85 | 2,17 | 0,095 | 0,047 |
| FUNDICIÓN DE AFINO | | | | | | | | | |
| Fundición para hierro ord. ^o | 95,05 | 0,653 | 0,758 | » | » | » | 2,45 | 0,287 | 0,622 |
| » para hierro fuerte | 92,95 | 3,450 | 0,618 | » | » | » | 2,05 | 0,031 | 0,162 |
| » para hierro sup. ^{er} | 95,04 | 1,940 | 0,204 | » | » | » | 2,875 | 0,047 | 0,053 |
| Hierro fino y acero pudlado. | 92,87 | 3,258 | 0,548 | » | » | » | 3,025 | 0,052 | 0,093 |
| SPIEGEL-EISEN | | | | | | | | | |
| Spiegel con 10 p. 100 mang. ^o | 84,15 | 10,20 | 0,16 | » | » | » | 4,85 | » | 0,085 |
| » 13 p. 100..... | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| » 18 p. 100..... | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| FERROMANGANESO | | | | | | | | | |
| Ferromanganeso á 25 p. 100. | 69,80 | 25,15 | 0,052 | » | » | » | 5,20 | » | 0,095 |
| » á 33 | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| » á 41 | 53,00 | 41,25 | 0,080 | » | » | » | 5,45 | » | 0,125 |
| » á 50 | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| » á 64 | 30,50 | 64,25 | 0,062 | » | » | » | 5,65 | » | 0,125 |
| » á 85 | 8,25 | 85,50 | 0,093 | » | » | » | 6,62 | » | 0,145 |
| ALEACIONES DE SILICIO | | | | | | | | | |
| Aleación núm. 1..... | 66,75 | 20,50 | 10,20 | » | » | » | 2,65 | » | 0,185 |
| » núm. 2..... | 71,50 | 19,50 | 7,45 | » | » | » | 2,65 | » | 0,178 |
| » núm. 3..... | 79,00 | 13,00 | 5,45 | » | » | » | 2,30 | » | 0,145 |
| » núm. 4..... | 85,50 | 6,50 | 5,55 | » | » | » | 2,10 | » | 0,140 |
| Aleación de cromo..... | 57,43 | 13,20 | » | » | 25,30 | » | 4,75 | » | » |
| Aleación de tungsteno..... | 30,00 | 41,50 | » | 24,25 | » | » | 5,65 | » | 0,140 |

CAPÍTULO IV

FABRICACION DEL HIERRO DULCE

159. El hierro dulce puede obtenerse por dos sistemas diferentes, cada uno de los cuales comprende varios métodos. Estos dos sistemas son: la reducción directa de las menas, y la afinación del hierro colado obtenido en el horno alto.

Artículo 1.º—Procedimiento reductor.

160. Generalidades.—Es el sistema que, como hemos visto, se aplica para la obtención del hierro colado. Para que pueda ser extensivo á la fabricación del hierro dulce, es preciso evitar que el metal pueda absorber el carbono y pasar al estado de fundición.

Si se hace uso de un agente reductor que no contenga carbono, el hierro, indudablemente, no podrá absorberlo. El único reductor de que podría hacerse uso con estas condiciones es el hidrógeno, y así vemos que en los laboratorios se reduce el óxido de hierro calentándolo en un tubo y haciendo pasar por él una corriente de dicho gas. Este procedimiento no es aplicable en la industria; para que lo fuera, sería preciso que, como sucede en pequeña escala en los laboratorios, el hidrógeno estuviera en gran exceso y produjese una corriente suficientemente rápida para arrastrar

constantemente el vapor de agua que se forma por la reducción y evitar que vuelva á reoxidar el hierro. Ahora bién; aunque no es difícil construir un aparato que pueda producir en grande escala el hierro por este sistema, los resultados pecuniarios obtenidos serían nulos ó negativos. En efecto, uno de los métodos más económicos de obtener el hidrógeno, es la descomposición del agua por el hierro y el ácido sulfúrico, y para producir la cantidad necesaria á la conveniente reducción de la mena, habría probablemente que gastar más hierro que el extraído del mineral y el resultado sería, por consiguiente, completamente ilusorio.

Los únicos agentes reductores que pueden emplearse, son, como ya hemos dicho al tratar de la fundición, el óxido de carbono y los hidrocarburos. Pero la reducción, empleando estos gases solamente, es muy difícil si no se encuentran en grande exceso, por la misma razón que hemos dicho al hablar del hidrógeno. El ácido carbónico y vapor de agua que se forma, son agentes oxidantes respecto al hierro y tienden, por lo tanto, á neutralizar el efecto producido por los gases reductores. Ya hemos dicho (§8) que volúmenes iguales de ácido carbónico y óxido de carbono no pueden reducir los óxidos de hierro inferiores al protóxido. Para que la reducción sea eficaz y económica, debe emplearse como agente reductor, además del óxido de carbono, el carbón sólido, aunque según M. Le Play, en realidad la reducción se verifica siempre por el óxido de carbono. Pero el carbono sólido da por resultado que el óxido de carbono esté siempre en exceso sobre el ácido carbónico. En efecto, supongamos que se introduce en un crisol cerrado una mezcla de óxido de hierro y de carbón y que el todo se calienta al calor rojo. El aire que llena los huecos, quemará una parte del carbono y se formará una atmósfera de azoe y óxido de carbono que reducirá parte del óxido de hierro. El ácido carbónico que resulta, se combinará con una parte del carbón, de manera que cada volumen de CO^2 producirá dos volúmenes de CO . Estos dos volúmenes de CO producirán con el oxígeno del óxido

2 CO^2 los cuales en contacto con el carbón, darán lugar á 4 CO y así sucesivamente la proporción de CO se irá doblando hasta conseguir la reducción completa del óxido, si el carbón se encuentra en exceso.

161. Al tratar de la fundición, hemos visto que para conseguir separar el metal de la ganga que contiene la mena, era preciso elevar la temperatura hasta obtener la completa fusión de las materias. La temperatura, para conseguir este resultado, debe ser muy superior á la necesaria para efectuar solamente la reducción y, á favor de ella, el hierro se combina con una parte del carbono, siendo por lo tanto el resultado hierro colado y no hierro dulce. Para obtenerlo en este estado será preciso, por consiguiente, emplear aparatos dispuestos de manera que la temperatura no se eleve sobre la conveniente para verificar solamente la reducción, en cuyo caso el hierro se obtendrá muy dividido, será un hierro pirofórico, que se presentará en forma de musgo mezclado con la ganga terrosa; ó bién que sea algo superior, pero solamente lo preciso para fundir la ganga facilitando la conversión de ésta en un silicato muy fusible y el hierro se obtendrá entonces en forma de esponja empapada de escorias.

El metal de la esponja, es en general más puro que la fundición obtenida con las mismas menas, porque siendo menos el calor, es menor la reducción de los elementos extraños al hierro, y esta es la razón de los esfuerzos hechos para obtener el hierro en estado de esponja y reemplazar este método al de la afinación del hierro colado. Pero para esto es indispensable que las menas sean muy ricas, porque si contienen mucha ganga, la cantidad de materias terrosas que contendrá la esponja, no podrá ser expulsada por el simple batido de ésta y será preciso beneficiarlas en el horno alto.

162. Método catalán.—Uno de los procedimientos fundados en la reducción del óxido acompañada de la fusión de las gangas, es el conocido con el nombre de *método cata-*

lán, que se efectúa en aparatos llamados *forjas catalanas*, y que, aunque va desapareciendo de día en día, está todavía en práctica en algunas herrerías de los Pirineos franceses y españoles, en las provincias Vascongadas, en algunas otras provincias del Noroeste de España y en la Córcega.

La forja catalana está reducida á un hogar rectangular abierto, en el cual se introducen el carbón y las menas, y se entretiene la combustión por medio de una tobera alimentada por un aparato soplante, que generalmente es una trompa. Se emplea exclusivamente carbón vegetal y menas muy ricas, en cuya ganga debe predominar la sílice, porque no debiendo ser muy elevada la temperatura, las escorias que se formen deben ser silicatos muy fusibles; es decir, silicatos cuya base predominante será el óxido de hierro.

Las cargas de menas y combustible se disponen de modo que el ácido carbónico producido por la combustión esté obligado á atravesar: primero, por entre carbón candente, donde se transforma en óxido de carbono, y luego á través de la mena, á la cual va reduciendo poco á poco. Las materias van cayendo en el fondo de la forja; el hierro en estado metálico y muy dividido, y la ganga, después de haberse combinado con una parte del óxido de hierro no descompuesto, en forma de escoria fusible.

El obrero desaloja la mayor parte de éstas por una abertura practicada en el aparato, y reúne entre sí las diversas partículas de hierro, componiendo con ellas una esponja empapada de escorias líquidas. Para formar una masa compacta y despojar al hierro de estas escorias, se somete la esponja á los golpes de un martinete, con lo cual son expulsadas por entre los poros, y estos se reducen y desaparecen por la soldadura de las diversas partes de hierro.

163. *Descripción de la forja.*—La forja (fig. 32, lámina III) consiste en una cavidad cuadrangular formada por cuatro muros, tres de los cuales son planos y el cuarto es una superficie curva que presenta la convexidad hacia el interior de la forja ú hogar.

La forja está adosada á una de las paredes del edificio, de las cuales le separa solamente un muro de fábrica que se denomina en catalán *piech del foc* y en Vizcaya *bergamazo*. Las dimensiones de las forjas catalanas son variables en las diferentes ferrerías. Su profundidad varía en general de 40 á 70 centímetros, y su anchura y longitud en el fondo es de 60 á 80.

El *fondo* ó *plaza* del crisol lo constituye una piedra, que conviene sea refractaria, arenisca por ejemplo, cuya superficie superior debe ser plana ó ligeramete cóncava y de dimensiones tales, que cuando sea preciso extraerla para reemplazarla pueda efectuarse esta operación sin deshacer la forja. En las forjas vizcainas, el fondo del hogar se denomina *cirillo*.

Por encima de la piedra del fondo se elevan las cuatro caras laterales que constituyen el crisol.

- 1.º La cara de trabajo, llamada *mano* ó *laiterol*.
- 2.º La cara de la tobera, que se denomina *las porgas*.
- 3.º La cara opuesta al *laiterol*, que se llama *la cava*.
- Y 4.º La cara opuesta á la tobera, *ore* ó *contraviento*.

En las forjas de las provincias Vascongadas el *laiterol* se llama *ciarzulo*, la cava *idurigueta*, y las porgas y el contraviento, se denominan respectivamente *chapa de la tobera* y *chapa de la vena*.

La cara del *laiterol* ó *mano*, es vertical y está constituida por varias piezas de hierro, dos gruesos barrotos llamados *laiterolas*, entre los cuales existe otra pieza, también de hierro, llamada *restanca*, que sirve para apoyar las palancas cuando se saca la esponja obtenida, á la que se da el nombre de *zamarra*. Sobre las *laiterolas* se atraviesa otra gran barra llamada *plía*, empotrada por uno de sus extremos en el *piech del foc* y sostenida en el otro sobre el terraplén donde está formado el contraviento por medio de una gran piedra cilíndrica. De la *plía* parte la banqueta, que está formada por planchas de hierro y tiene una ligera inclinación hacia el interior del crisol. Finalmente, en la parte inferior de la mano existe una

abertura llamada *chío*, por donde se da salida á las escorias producidas durante el trabajo.

Las porgas son unas barras de hierro de sección rectangular, que se colocan unas sobre otras formando una pared vertical desde el fondo del crisol hasta la tobera. A partir de aquí, la pared se continúa por un muro de mampostería ordinaria.

El contraviento está igualmente constituido por barras de hierro, pero de sección trapezoidal, de manera que por su superposición formen una superficie curva con su convexidad hacia el interior del crisol.

La cava es un muro de fábrica ordinaria trabada con arcilla de 1^m,5 á 2 metros de altura, y que forma con la vertical un ángulo de 5 á 10°.

La tobera es un tubo de cobre que atravesando una bovedilla practicada en el muro del edificio y el *piech del foc*, y apoyándose sobre las porgas, penetra en el crisol de 20 á 30 centímetros, cantidad variable según la naturaleza del carbón que se emplea. La tobera forma con la horizontal un ángulo de 35 á 40°. El ojo está aplastado de modo que su dimensión horizontal sea de 4 á 4,5 centímetros y la vertical de 3 á 3^{em},5.

La buza, sin penetrar hasta el extremo de la tobera, debe estar bastante cerca de ésta, para que el viento la refresque é impida su fusión.

Las forjas no tienen chimenea, y para dar salida al humo se practica una simple abertura en el techo del taller.

Los aparatos accesorios de las forjas catalanas son la *trompa*, como máquina soplante y un martinete, movido por una rueda hidráulica, para batir las *zamarras*.

164. *Trompa*.—La trompa se compone de un depósito superior *a* (fig. 33, lám. III), que se mantiene constantemente lleno de agua, y otro inferior *b*, reunidos ambos por uno ó varios tubos *c* llamados *árboles*. Estos tubos se estrechan en la parte superior, formando un embudo *d*, é inmediatamente debajo de él los árboles llevan cuatro aberturas

e, por las cuales penetra el aire exterior, que es aspirado y arrastrado por la vena líquida hasta el depósito *b*. El agua cae sobre un caballete *f*, que la desparrama y facilita la separación del aire arrastrado por ella. El aire se acumula en la parte superior del depósito y por el portaviento *h* es conducido á la forja. El agua pasa constantemente por las aberturas *g* á un estanque donde está sumergido el depósito *b*.

La presión del aire se mide por la diferencia de nivel del agua entre el interior y exterior del depósito. Para tener una presión de 0^m,06 á 0^m,07 de mercurio, es preciso disponer de una caída de agua de 5 metros por lo menos.

Según las experiencias de los Sres. d'Aubuisson, Thibaud y Tardy (1), la altura del agua sobre la parte estrecha del embudo debe estar comprendida entre 0^m,45 y 0^m,60 para una caída total de 5 metros, y para caídas de 8 á 10 metros puede llegar á 1 metro. El diámetro de la abertura inferior del embudo no debe exceder de 0^m,1 á 0^m,15, y cuando ésta no baste para suministrar el volumen de aire necesario, debe aumentarse el número de árboles más bien que emplear uno de mayor sección. El diámetro interior del árbol debe ser los $\frac{3}{5}$ del de la abertura del embudo.

Las trompas se construyen de madera, de fundición ó de planchas de palastro. Es la máquina soplante más económica y que conviene emplear siempre que se disponga de una caída de agua de suficiente altura y no se necesite una presión de viento mayor de 0^m,07 de mercurio.

La corriente de aire es perfectamente uniforme, y para modificarla existen unos tapones que cierran más ó menos los embudos, y que, por el intermedio de un sistema de palancas, se manejan desde la misma forja.

165. *Martinete*.—El martinete empleado en las forjas catalanas se compone (fig. 34, lám. III) de una gran viga de 30 á 40 centímetros de escuadria y de 4^m á 4^m,5 de longitud, que puede tomar un movimiento oscilatorio, con

(1) *Annales des Mines*, 2.^a serie, tomo IV.

cuyo objeto está provista en su parte media de un suncho de hierro con dos muñones, que se apoyan en dos muñoneras de hierro sostenidas por una sólida armadura de madera. En una de sus extremidades se asegura, por medio de cuñas, una pieza de fundición de 600 á 700 kilogramos de peso, que es lo que constituye la *cabeza* del martillo.

Un árbol horizontal, que se hace girar por medio de una rueda hidráulica, de la cual constituye el eje, pone en movimiento al martillo. Para esto, dicho árbol está provisto de cuatro levas de hierro forjado, las cuales vienen á apoyarse sucesivamente sobre una pieza de madera dura sujeta con una grapa de hierro á la cola del martillo. Esta desciende haciendo elevar la cabeza, que volverá á caer por su propio peso, y á elevarse otra vez cuando la siguiente leva venga á chocar con la cola.

Para aumentar ó disminuir la velocidad del movimiento del martillo, se saca más ó menos la pieza contra la cual chocan las levas. Y para disminuir la amplitud de las oscilaciones y favorecer la caída de la cabeza, se coloca bajo la cola y sobre una gruesa piedra, una chapa de hierro que hace el efecto de un resorte para levantar la cola.

El yunque es una pieza de hierro forjado, empotrada en otra de fundición, que á su vez lo está en una gran piedra.

Ordinariamente el martinete marcha con una velocidad de 100 á 125 golpes por minuto.

La figura 35 representa el conjunto de una forja catalana.

166. *Combustible y menas empleados*—El combustible que se emplea en las forjas catalanas, es exclusivamente el carbón vegetal, porque el metal, estando constantemente en contacto con dicho combustible, éste debe ser lo más puro posible.

Los minerales, para ser empleados en este tratamiento, deben ser bastante porosos, con objeto de que los gases reductores puedan atravesar bién á través de su masa. Si no se dispone de minerales que satisfagan á esta condición, y las

menas son, por el contrario, muy compactas por componerse, por ejemplo, de carbonatos de hierro ó contener una ganga caliza compacta, es preciso calcinarlas, y, calientes aún, sumergirlas en agua para que se disgreguen. Esta calcinación se efectúa ordinariamente en hornos de cuba de poca altura, en los cuales se cargan el mineral y la leña por capas alternadas, debiendo tener cuidado que la temperatura se eleve solamente lo suficiente para producir el desprendimiento del ácido carbónico, pues si llega á ser tan grande que pueda producir un principio de fusión, el mineral se agregará más, resultando, por lo tanto, un efecto contrario al que se desea obtener.

167. *Marcha del trabajo.*—Para empezar una operación en la forja, se pesa desde luego la cantidad de mena que deba emplearse, cantidad que varía en las diferentes forjas entre 480 á 550 kilogramos. Esta mena se quebranta en el mismo martinete de la forja, reduciéndola á trozos que no excedan de 5 á 6 centímetros de grueso. El todo se pasa por una criba, que retiene todos los fragmentos de más de 1 centímetro, lo cual constituye la *mena* propiamente dicha, y deja pasar los más menudos y el polvo, á lo que se da el nombre de *grillada*. Esta última parte, que varía entre un tercio y un medio de la masa total, contiene casi la totalidad de la ganga, la cual se pulveriza más fácilmente que el resto del mineral. La grillada se humedece y amon-tona cerca del hogar.

Después de limpio el crisol, se vuelven á echar en él los carbones candentes que habían quedado de la operación anterior, y se va cargando además carbón menudo, que se apisona con la pala, hasta llegar á la nariz de la tobera. En seguida se coloca una ancha pala paralelamente á las porgas, y de modo que su distancia á éstas sea doble que lo que dista del contraviento. En el espacio comprendido entre la pala y las porgas, se sigue echando carbón, y al lado del contraviento se va vertiendo la mena mezclada con algunas paladas de carbón. Todo se va comprimiendo fuerte-

mente, y elevando la pala conforme se llenan los dos espacios en que divide al crisol; y así se continúa hasta formar un montón de mena, que se eleva unos 20 centímetros por encima del contraviento. Separada la pala, se recubre todo con brasca húmeda, que se apisona fuertemente para no dejar fácil salida á los gases.

Cuando la carga está terminada, se da viento á toda presión para encender perfectamente el carbón, y cuando se ha conseguido esto, lo cual se reconoce por las llamas de óxido de carbono que aparecen por encima del montón de mena, se reduce la presión del viento á 36 milímetros de mercurio. Las llamas deben salir solamente por la parte de la mena, que es donde deben producir su acción los gases reductores; si se manifiestan por la parte de las porgas, se añade más brasca húmeda y se la comprime fuertemente con la pala.

La presión del viento se va aumentando gradualmente en los diferentes períodos de la operación.

Conforme se va consumiendo el carbón se añade más cantidad vertiendo por encima *grillada* húmeda, formando capas sucesivas que se rocían con agua y aprietan con la pala, con objeto de no dejar paso á los gases y obligarlos á atravesar el montón de mena.

Según hemos dicho, los gases que atraviesan la mena irán reduciendo al óxido de hierro, el cual pasará primeramente al estado de óxido magnético, después al de protóxido y finalmente en la parte inferior una porción de este protóxido pasará al estado metálico y otra escorificará la ganga formando silicatos fusibles.

La *grillada* sufrirá las mismas transformaciones que la mena y con mucha más rapidez, en razón á su mayor estado de división.

Al cabo de dos horas próximamente de empezada la operación, se carga, en vez de *grillada*, una cierta porción de las escorias que resultan del batido de la zamarra, y poco después se abre por primera vez el *chío*, el cual da salida á

unas escorias espesas y muy básicas, las cuales se cargan también en la forja como la grillada.

El hierro metálico que resulta de la reducción de la mena, encontrándose á una temperatura bastante elevada en contacto con carbón y en una atmósfera reductora, tiende á absorber dicho carbono. Para evitar esto, y con objeto también de ir preparando la formación de la zamarra, el operario introduce una palanca de hierro entre el contraviento y el montón de mena y empuja la parte inferior hacia la tobera para buscar la zona oxidante, en la cual se descarbura el hierro y hasta se oxidaría si no estuviera preservado por las escorias. Estas se desalojan de cuando en cuando por el *chío*, el cual se deja abierto hasta que la llama, que sale por él, aparezca blanca y brillante, lo cual es señal de que empieza á quemarse el hierro.

Cuando toda la mena ha descendido al fondo del crisol, lo cual tiene lugar próximamente á las cinco horas de empezada la operación, se introduce en la forja un espetón, con el cual se van reuniendo los diversos trozos de hierro esponjoso esparcidos por el crisol, soldándolos unos á otros y acumulándolos al núcleo principal. La zamarra que resulta, que tiene ordinariamente de 150 á 180 kilogramos de peso, se extrae del crisol introduciendo bajo ella el extremo de una gruesa palanca de hierro que se pasa por entre las laiterolas, y á la que sirve de punto de apoyo la restanca. Los operarios cargan sobre ella hasta conseguir desprender la zamarra del fondo del crisol y echarla fuera de la forja.

Retirada la zamarra del fuego, se la conduce al martinete, donde se la golpea revolviéndola en todos sentidos, lo cual hace expulsar la mayor parte de las escorias y aumenta su compacidad. En seguida, por medio de una cuña se la divide en el mismo martinete en tres partes: la del medio, que se llama *mazoca*, y dos laterales llamadas *mazoquetas*. La zamarra obtenida en las forjas vizcainas no excede generalmente de 90 kilogramos y se la divide en dos partes: una llamada *tocho* y otra *guerrigalda*. Estos diversos trozos de la

zamarra se caldean en el hogar durante la siguiente operación, colocándolos al lado de las forjas y cerca de la tobera, y, cuando han adquirido la temperatura conveniente, se forjan en el martinete estirándolas en barras de la forma que se desee, para cuyo objeto es preciso darles dos ó tres caldas.

Barinaga describe detalladamente una de estas operaciones (1), y hace referencia á otra análoga descrita por Richard, que duró seis horas y tres minutos, y en la cual se consumieron 487 kilogramos de mineral y 547 de carbón, produciendo 151^{kg},6 de hierro en barras.

En las forjas catalanas puede obtenerse á voluntad *hierro dulce*, *hierro aceroso* ó *acero natural*. Para conseguir el hierro dulce, deberá impedirse la carburación como hemos dicho; y para obtener acero, deberá, por el contrario, favorecerse, aumentando la proporción de carbón, desalojando las escorias más á menudo, y dejando la zamarra mayor tiempo fuera de la parte oxidante de la llama, en contacto con el carbón.

168. *Calidad de los productos.*—El hierro obtenido es de muy buena calidad, debida principalmente á la excelencia de los minerales empleados y á la temperatura poco elevada del hogar, que no favorece la reducción de los cuerpos extraños; pero es muy poco homogéneo, conteniendo muchos granos de acero que dificultan el trabajo con la lima, y poco limpio, á causa de la dificultad de expulsar completamente las escorias, para lo cual sería preciso un trabajo de forja más prolongado y poderoso que el del martinete, cuyo trabajo haría aumentar su precio. Este es el mayor inconveniente de las forjas catalanas; el producto obtenido resulta sumamente caro, no tan sólo porque la mano de obra es relativamente costosa, sino por el poco beneficio que se obtiene del mineral, del cual se extrae apenas la mitad del hierro que contiene; y sobre todo, por el enorme consumo de com-

(1) *Curso de Metalurgia especial*, explicado en la Escuela de Minas, por D. Luis Barinaga.

bustible, que excede en general del 300 por 100 del hierro obtenido, elevándose en algunas forjas este consumo hasta 500 y 600 por 100. El método catalán no puede hacer competencia á los grandes establecimientos industriales donde se fabrica el hierro por los procedimientos de afino que estudiaremos más adelante, y no puede subsistir más que en los países montañosos, donde la falta de vías cómodas de comunicación hacen los transportes sumamente costosos.)

169. Método de Chenot.—Este método tiene por objeto verificar simplemente la reducción del peróxido de hierro contenido en las menas, obteniendo el hierro dulce mezclado con la misma ganga que contienen éstas. Por consiguiente, como ya hemos indicado, no puede tener aplicación más que á minerales muy ricos; y así es que en el día, según nuestras noticias, no está en uso más que en la fábrica de Baracaldo, donde se benefician las menas de Somorrostro. En Hautmont, Couillet y otros establecimientos, donde Mr. Chenot instaló su procedimiento por los años de 1856 á 57, se ha abandonado por completo.

En los aparatos del sistema Chenot se efectúa la reducción del óxido de hierro por medio del carbón, y está reducida la operación á ejecutar en grande escala la que puede ejecutarse en los laboratorios en un crisol y que hemos descrito anteriormente. Es decir, que en un gran crisol formado de ladrillos refractarios, se introduce la mena mezclada con cisco de carbón vegetal, y por medio de un foco exterior, se calienta este crisol hasta que su contenido se eleve al calor rojo. Entonces el carbón, por medio de las reacciones que ya hemos indicado, reduce al óxido de hierro y se obtendrá este metal en un gran estado de división; es decir, será un hierro pirofórico, que si se expone al aire todavía caliente, se inflamará, volviendo á pasar al estado de óxido. Para evitar esto, el aparato está provisto de un refrigerante, donde puede enfriarse la esponja antes de ser descargada.

(El aparato se compone de dos crisoles ó cubas prismáticas construídas de ladrillos refractarios, y reunidas en un

mismo macizo que insiste sobre bóvedas de mampostería. Los crisoles tienen de 8 á 10 metros de altura, y su sección rectangular es de 1^m,5 á 2^m de longitud, por 50 centímetros de ancho. Se ensancha ligeramente por la parte inferior para facilitar el descenso de las cargas, y cada crisol se termina por una caja de palastro, cuyo fondo queda elevado de 50 á 60 centímetros sobre el suelo, y cuya altura es de 3 ó 4 metros; resultando, por lo tanto, la altura total del aparato, de 13 á 14 metros. En estas cajas se mantiene la esponja el tiempo necesario para su enfriamiento.

En el punto de unión de los crisoles con el refrigerante, hay establecidos cuatro hogares (que en Baracaldo se cargan con hulla de Cardiff), cuyas llamas circulan por una serie de conductos que rodean los crisoles, conductos que en la parte superior se reúnen en uno solo en comunicación con la chimenea. De este modo, arreglando convenientemente el tiro, pueden calentarse los crisoles á la temperatura del rojo cereza, que es la más adecuada á la buena marcha de la operación.

Los crisoles están cerrados por la parte superior con una tapadera y el fondo del refrigerante también lo está herméticamente por medio de una tapa, que un tornillo de presión comprime de abajo á arriba. Cuando se quiere retirar una carga, se introducen por una serie de orificios que existen en la parte inferior del aparato junto al fondo, varias barras de hierro, las cuales forman una parrilla que sostiene la esponja contenida en el refrigerante. En esta disposición, puede quitarse el obturador, y haciendo descender el tornillo de presión que lo comprimía, se hace llegar bajo el refrigerante un vagoncillo de palastro, cuyo fondo es móvil. Por medio del tornillo de presión se hace ascender este fondo hasta adaptarlo al refrigerante; quitando entonces las barras de la parrilla y haciendo descender el fondo del vagon hasta que ocupe su posición primitiva, quedará éste cargado de esponja. Se vuelven á colocar las barras, se retira el vagon y se cierra para evitar la oxidación de la esponja,

que arde con la mayor facilidad á la menor elevación de temperatura. Se reemplaza el vagon por otro, que se carga del mismo modo y así se continúa hasta extraer toda la mena reducida.

Terminada la descarga, vuelve á cerrarse el refrigerante con su obturador y por la parte superior se rellena el hueco que ha quedado, introduciendo por capas alternadas una nueva carga de mena y $\frac{1}{3}$ de carbón. La mena se emplea en pedazos del tamaño de una nuez y el carbón vegetal en pedazos pequeños.

Se carga y descarga cada seis horas y la cantidad de mena tratada cada día viene á ser de 1200 á 1300 kilogramos por crisol, lo cual es próximamente la octava parte del contenido total y por consiguiente la mena tarda ocho días en su completa reducción. Estos 1200 á 1300 kilogramos de mena, producen 750 á 800 kilogramos de esponja, la cual se obtiene mezclada con 40 ó 50 kilogramos de carbón, que no ha intervenido en las reacciones, y con las materias terrosas de la ganga. La esponja, después de descargada, se clasifica por medio de un *trommel* en tres clases de productos: esponja pura, esponja mezclada con carbón y carbón mezclado con una pequeña cantidad de esponja. Se separa el carbón de la esponja por medio de un ventilador y se recoge la corta cantidad de hierro contenido en el tercer producto, por medio de un imán que, animado de un movimiento de rotación, atrae las partículas de hierro, que un cepillo va separando constantemente.

El producto obtenido puede carburarse y fundirse para convertirlo en acero, ó bién como se hace en Baracaldo, transformarlo en tochos y barras, calentándolo con carbón vegetal en un hogar y forjándolo en el martinete cuando ha adquirido la temperatura del blanco soldante.

En esta operación, las materias terrosas contenidas en la esponja se escorifican con una parte del óxido de hierro que se forma y son expulsadas por la presión. Los tochos formados de este modo, se calientan en un horno de reverbero y se estiran en barras por medio del laminador.

Este procedimiento está muy lejos de ser ventajoso. Es sumamente lento, la mano de obra bastante considerable y, aunque en la esponja extraída del aparato se encuentra reducido casi todo el hierro contenido en la mena, en las operaciones subsiguientes se oxida una gran parte produciéndose una merma, que ordinariamente llega á un 45 por 100. Por último, por cada tonelada de hierro obtenido, es preciso consumir más de cuatro toneladas de combustible, más de la mitad del cual debe ser carbón vegetal.

170. Método de Gurlt.—En 1857 ensayó el doctor Gurlt la reducción de las menas de hierro valiéndose de un agente reductor gaseoso, el óxido de carbono, que se producía en dos gasógenos desde los cuales pasaba á la cuba que contenía la mena. Este método tiene la ventaja sobre el de Chenot de suprimir la clasificación de la esponja, puesto que ésta no resulta mezclada con carbón; pero en los primeros ensayos, verificados en una fábrica cerca de Bonn, fracasó totalmente, porque la reducción era incompleta é irregular, no verificándose la de toda la mena si no era suficiente la temperatura y produciéndose, cuando ésta era demasiado elevada, atascamientos por experimentar las materias un principio de fusión; de todo lo cual resultaba una producción muy débil con respecto á las dimensiones del horno.

Sin embargo, según Barinaga, este sistema está hoy día en práctica en Astepe (Vizcaya) y, si bién ligeramente modificado por Mr. Tourangin, en las ferrerías de Usánsolo de la misma provincia y del Guadazaón (Cuenca).

El aparato consiste en una cuba central (fig. 36, lámina IV), de ladrillos refractarios de 4^m,10 de altura y 65 centímetros de ancho en el vientre.

En esta cuba se carga la mena por la parte superior en trozos que no pasen del tamaño de una nuez y se descarga la esponja por la parte inferior; para lo cual por una ranura, que durante la operación está cerrada, se introducen unos barrotes de hierro para formar una parrilla, y separada de

este modo la esponja, se hace descender por un plano inclinado y se recoge en vagones de palastro.

Los gasógenos son igualmente dos cubas colocadas á uno y otro lado de la central que contiene la mena, con cuyo fondo están en comunicación. A unos 80 centímetros por bajo de esta comunicación existen dos toberas por cada gasógeno, las cuales inyectan el aire necesario para la formación del óxido de carbono. El carbón se carga por la parte superior de los gasógenos y la boca de éstos está tapada con un cierre hidráulico. En la parte inferior hay unas compuertas que se abren de cuando en cuando para extraer las cenizas.

El aire inyectado por las toberas, quema el carbón y se convierte en ácido carbónico, el cual á su vez, teniendo que atravesar una columna de carbón candente, se transforma en óxido de carbono. Este, hallandose en gran cantidad, verifica la reduccion del óxido de hierro, sin que le perjudique el ácido carbónico resultante de la misma reduccion.

El óxido de carbono entra en la cuba que contiene el mineral á una elevada temperatura; pero ésta desciende rápidamente á causa del calor perdido por conductividad y del absorbido en la reaccion al pasar el oxígeno del mineral del estado sólido en que se encontraba en ésta, al estado gaseoso por su combinacion con el óxido de carbono. Es decir, que en la masa de mineral, la temperatura va decreciendo desde la parte inferior á la superior y la reduccion deja de verificarse en el punto en que esta temperatura es inferior á 700 ú 800°, ó más bien antes de llegar á este punto, pues el poder reductor del gas va disminuyendo también á causa del ácido carbónico que resulta de la reduccion.

La cantidad de aire inyectado debe graduarse de manera que la temperatura del gas al entrar en la cuba central sea la suficiente para que las partículas de hierro de la esponja se suelden entre sí y pierdan su facultad pirofórica, y no llegue sin embargo á elevarse hasta el punto de fundir la ganga, lo cual entorpecería la marcha del horno. La esponja

obtenida se caldea al blanco soldante y se forja en el martinete.

Para este procedimiento se emplea en Usánsolo mineral de Somorrostro de la mejor calidad, y cada tonelada de mena produce 620 kilogramos de esponja por término medio, necesitándose de 280 á 290 kilogramos de carbón vegetal para la reducción, y probablemente más de 350 para el trabajo de la esponja, la cual en esta operación sufrirá aún una merma, que no bajará de un 40 por 100.)

171. Otros métodos de obtención del hierro por el sistema de reducción.—Además de los procedimientos de Chenot y de Gurlt, que hemos mencionado, se han hecho por diferentes metalurgistas varios ensayos con objeto de obtener el hierro dulce directamente por la reducción de las menas. Casi todos estos procedimientos han sido abandonados en vista de sus malos resultados, por cuya razón nos limitaremos á dar una ligerísima idea de los hornos llamados Stuckofen, que todavía se usan en Finlandia, del nuevo procedimiento del Sr. Siemens, por medio del rotador establecido en Towcester y del más reciente del Ingeniero americano Du Puy.

172. Stuckofen.—Los stuckofen, abandonados en la Styria y Carinthia hace muchos años, se conservan todavía, como hemos dicho, en la Finlandia para el beneficio de minerales lacustres que contienen por término medio 0,50 por 100 de ácido fosfórico. Estos hornos han sido el intermedio entre las forjas y los hornos altos. Son hornos de cuba ligeramente ensanchados en la boca, de 1^m3 próximamente de capacidad, y alimentados por una tobera. La mena y el combustible (carbón vegetal) se cargan por capas alternadas. La mena se reduce en parte, y el óxido no reducido forma con la ganga escorias básicas y fusibles. El hierro, no estando bastante carburado, no puede entrar en fusión y forma una esponja compuesta de partículas de fundición, hierro y acero, que se extrae por una abertura practicada en la delantera del horno, abertura que durante la

operación está tapada con arcilla, y se martilla y estira en una forja próxima al horno.

La única ventaja de este método es el poder aplicarse á minerales fosforosos. Siendo las escorias muy básicas, los fosfatos formados no son descompuestos por la sílice, y el hierro se obtiene exento de fósforo. Por lo demás, es mucho más dispendioso que el método catalán; apenas se obtiene la tercera parte del hierro contenido en el mineral, y el consumo de carbón se eleva hasta seis ó siete veces el peso del hierro producido.

173. Rotador de Siemens.—El rotador de que se sirve el Sr. Siemens es un horno de reverbero giratorio, de una forma análoga á los que describiremos más adelante al tratar del pudlaje, diferenciándose en que está calentado por un hogar de gas del sistema *horseshoe* (herradura). La parte principal del aparato es un cilindro horizontal de palastro de unos 3 metros de longitud, y 2,5 de diámetro, con dos aberturas circulares en sus dos bases, de 1^m,10 á 1^m,20 de diámetro; una de ellas sirve de puerta de trabajo, y la otra está en comunicación con el doble canal de entrada y salida de las llamas. Está revestido interiormente de una capa de ladrillos refractarios sobre la cual se forma otra de minerales ricos empastados con escorias y óxidos de batiduras á medio fundir. Este cilindro puede recibir un movimiento de rotación alrededor de su eje. La fábrica está establecida cerca de un yacimiento de minerales oolíticos del Northampton-shire, minerales muy pobres y fosforosos.

Reducida la mena á trozos del tamaño de un garbanzo, y mezclada con un tercio de su peso de hulla, se introduce en el aparato por la puerta de trabajo. Al principio se hace girar el aparato lentamente y se fuerza la temperatura para calentar la masa; después se trabaja con un exceso de gas para disminuir la acción oxidante de la llama. Al cabo de dos ó tres horas empiezan á fundirse las escorias y se forman grumos de hierro reducido, que se sueldan unos á otros á consecuencia del movimiento de rotación, cuya velocidad se

aumenta entonces para facilitar la incorporación de todas las partículas de hierro. Se deja reposar un momento y se da salida á las escorias. Después de esto se aumenta la temperatura todo lo posible y se acelera el movimiento de rotación, con lo cual se consigue formar una bola ó zamarra que se extrae y forja en el martillo pilón.

En esta primera forja no se consigue expulsar todas las escorias y hay que repetir la operación todavía una ó dos veces calentando la zamarra al blanco soldante en un horno de recalentar.

Según Gruner, no se obtiene generalmente más del 50 por 100 del hierro contenido en el mineral y el consumo de combustible es de cuatro á seis veces el peso del hierro producido.

El procedimiento es ventajoso para el tratamiento de minerales fosforosos, pues resultando escorias muy básicas, precisamente á causa de la poca energía de la reducción, todo el ácido fosfórico queda contenido en ellas.

174. Procedimiento de Du Puy. — En el año de 1880 se hicieron en la fábrica de Round-Oaks (Inglaterra) varios ensayos de un nuevo método para la obtención del hierro directamente del mineral, debido al Ingeniero americano Sr. Carlos Du Puy, cuyo método parece presentar notable ventaja sobre los anteriormente ensayados con el mismo objeto, habiéndolo comprobado así las pruebas efectuadas en desventajosas condiciones en Madrid en Agosto de 1883.

El procedimiento consiste esencialmente en mezclar el mineral pulverizado con polvo de carbón para efectuar la reducción de los óxidos y con una cierta proporción del conveniente fundente, determinado de tal manera, que resulte una escoria básica, para que se apodere del fósforo y otras impurezas y al mismo tiempo bastante viscosa para que forme un barniz que preserve al metal de la reoxidación por los gases del horno.

Analizado el mineral, se podrá saber qué clase de fun-

dente y en qué proporciones se le deberá añadir para formar, con los elementos que ya contiene, un silicato que llene los requisitos que acabamos de mencionar. Generalmente habrá que hacer uso de la cal y arcilla; si hay una preponderancia de sílice en el mineral, convendrá emplear la dolomia, y si es aluminoso, se prescinde de la arcilla.

El autor, en sus primeros ensayos, introducía todas estas materias en cilindros anulares de chapa de hierro y de 10 á 12 centímetros de espesor para que el calor penetrara bien en el interior de la masa, y los colocaba en la plaza de un horno de reverbero. Mantenía la temperatura al grado conveniente para reducir los óxidos de hierro, y conseguido esto, daba un golpe de fuego para elevarla al blanco soldante, sacaba del horno los cilindros de chapa de hierro con su contenido y los forjaba en el martillo de igual manera que las zamarras procedentes de otros procedimientos.

No es indispensable encerrar las materias en cajas de hierro para evitar su oxidación. Puede obtenerse el mismo resultado moldeándolas por la compresión en forma de cilindros huecos que se colocan de pié en el horno de reverbero, ó, mejor aún, en forma de prismas cuadrangulares con varios huecos dispuestos de modo que los prismas resulten compuestos de tabiques de 5 á 6 centímetros de espesor. Las escorias que se forman barnizan su superficie y los protegen contra la reoxidación. El óxido de carbono que resulta de la reacción entre el carbón mezclado y el óxido de la mena, se escapa por entre los poros de los cilindros ó prismas, se enciende, y su combustión aumenta la temperatura en el interior del horno.

Cuando se ha reducido todo el hierro, el operario deshace los cilindros ó prismas, reúne con su espetón las partículas metálicas y forma varias bolas ó zamarras que va forjando de la manera ordinaria.

El hierro obtenido por este procedimiento debe ser bastante puro. No siendo muy elevada la temperatura, no se reducirán ni la sílice ni los óxidos metálicos que pueda con-

tener la mena; el azufre se eliminará fácilmente, lo mismo que el fósforo, pues los fosfatos formados pasarán á las escorias sin llegar á ser descompuestos por la sílice.

Desde luego su aplicación más conveniente será al beneficio de menas ricas y puras; pero podrán tratarse también por él cualquiera clase de minerales, así como los óxidos de batiduras y las escorias ferruginosas resultantes de otros procedimientos.

Una de sus mayores ventajas es además el poco coste de instalación y por lo tanto es probable que pueda sustituir ventajosamente á las forjas catalanas.

Art. 2.^o—Afino del hierro colado.

175. Teoría del afino.—El segundo sistema para obtener el hierro dulce es, como hemos dicho, el que consiste en afinar la fundición; es decir, purificarla de todos los elementos extraños al hierro que contiene, como son principalmente el carbono, silicio, manganeso, azufre y fósforo.

En este sistema están fundados diversos procedimientos de fabricación, y en todos ellos la separación de los elementos extraños se efectúa por vía de oxidación.

La operación puede ejecutarse conservando la fundición en el estado sólido, en el estado pastoso ó bien completamente fundida. Veamos en estos diferentes casos, cuáles son las reacciones que producen el afino de la fundición.

176. Supongamos un objeto de fundición de pequeño espesor, y que se calienta en medio de una masa de peróxido de hierro en polvo. El carbono que se encuentra en la superficie del objeto en contacto con el peróxido, lo reducirá, y desaparecerá en forma de ácido carbónico ú óxido de carbono.

La superficie de la fundición habrá quedado descarburada; pero el carbono disuelto en su interior volverá á recarburarla. Esta nueva cantidad de carbono, que ha pasado al exterior, será á su vez quemada por el oxígeno del peróxido,

y reemplazada por otra parte del carbono disuelto; y de esta manera, al cabo de cierto tiempo, el objeto de fundición puede haber perdido una cantidad de carbono suficiente para hacerle adquirir la maleabilidad característica del hierro dulce.

Para obtener este resultado, se necesitan, sin embargo, condiciones especiales. Es preciso que el objeto tenga muy poco espesor, porque si no, el corazón permanece carburado, y la fundición debe ser pura y no contener más que carbono, pues los elementos extraños como el silicio, fósforo y los metales que se encuentren en ella, cuyos productos oxidados no son gaseosos, no pueden ser expulsados por este procedimiento.

El producto obtenido de este modo, es lo que se conoce con el nombre de *fundición maleable*.

177. Puede también afinarse la fundición conservándola en el estado pastoso ó semilíquido constituyendo este procedimiento el llamado *pudlaje seco*.

Si se calienta la fundición en un aparato cualquiera, en un horno de reverbero, por ejemplo, sometida á la acción oxidante de una corriente de aire, todos los cuerpos oxidables se encontrarán en condiciones á propósito para combinarse con el oxígeno, y su oxidación, si se encontrasen mezclados en iguales proporciones, se verificaría según el orden de su oxidabilidad; pero en virtud de la acción preponderante de las masas, el hierro será el primero que se oxidará. Esta oxidación no será más que momentánea, pues el silicio y el manganeso que pueda existir, reducirán inmediatamente el óxido que se encuentra en contacto con ellos, no sólo por su mayor avidez por el oxígeno, sino también por la afinidad que existe entre la sílice y el óxido de manganeso, y la sílice y el óxido de hierro para formar silicatos. Por consiguiente, vemos que la oxidación de los elementos extraños se verifica por el *intermedio* del óxido de hierro.

El silicio se convertirá en sílice, la cual se combinará con el óxido de hierro y el óxido de manganeso que se habrá

formado al propio tiempo, produciendo escorias fusibles; el carbono se desprenderá en estado de óxido de carbono; el fósforo se transformará en ácido fosfórico, que á su vez dará lugar á fosfatos de hierro fusibles que pasarán á las escorias, y en cuanto al azufre, una parte podrá desprenderse en estado de ácido sulfuroso, otra podrá pasar á las escorias en estado de oxisulfuro de hierro y otra quedará combinada con el metal. Pero, para que todas estas reacciones puedan producirse fácilmente, es preciso que el óxido de hierro se encuentre en íntimo contacto con los elementos que deben oxidarse. Esto se conseguirá removiendo y mezclando constantemente la masa. Ahora bién, si esta operación se efectúa á mano por medio de un espetón, que es como se hace en el *pudlaje*, se conseguirá más fácil y prontamente si la materia está en estado pastoso que si se la deja adquirir toda su fluidez. En efecto, tanto el óxido de hierro como los silicatos que desde luego se forman, siendo menos densos que la fundición, tienden á sobrenadar, y de esta manera, no sólo no están en contacto con todas las partes de la masa, sino que dificultan también su oxidación. Removiéndola en estado pastoso, se aumentará la superficie expuesta á la acción oxidante del aire y el contacto entre el óxido de hierro formado y los elementos que deben ser oxidados.

El aparato en que se efectúa esta operación debe satisfacer una condición esencial, sin la cual se aumentaría extraordinariamente la cantidad de hierro que pasa en las escorias y se dificultaría la expulsión del carbono y de los cuerpos extraños de que es preciso desembarazar la fundición. Esta condición es que la solera y las paredes del horno en contacto con la fundición no sean de materiales refractarios ordinarios, es decir, que no sean silíceas. Mientras exista sílice en presencia de los óxidos de hierro, se formarán silicatos, y dicho ácido facilitará únicamente la oxidación de los metales alcalinos y alcalino-terrosos, que puedan existir en la fundición, con cuyos óxidos tienen más afinidad que con el de hierro. La sílice es sobre todo un inconveniente para

la eliminación del fósforo. El fósforo se oxida desde luego y tiende á formar fosfatos, pero éstos, siendo menos estables á alta temperatura que los silicatos, la sílice los descompone apoderándose de su base, y el ácido fosfórico, vuelve á reducirse por el metal ó por el óxido de carbono producido y á combinarse con el hierro. Por consiguiente, el horno debe ser de paredes metálicas ó estar revestido de una sustancia en que no predomine la sílice.

Supuesto que, como hemos dicho, el óxido de hierro que desde luego se forma es el agente que produce el afino, podrá reducirse la merma y apresurar la operación mezclando con la fundición que se trata de afinar una cierta cantidad de este óxido ya formado. Así es, que podrá añadirse mineral de hierro que contenga poca ganga, óxidos de batiduras y escorias básicas.

A medida que el carbono va desapareciendo, el metal resulta menos fusible, y para evitar que tome cuerpo antes de terminarse el afino, se hace preciso ir aumentando poco á poco la temperatura del horno para mantenerlo constantemente con la consistencia suficiente para poder trabajarlo. Por último, cuando la casi totalidad del carbono ha desaparecido, se obtiene por resultado final una esponja de hierro dulce empapada de escorias fundidas, que se hacen desaparecer en su mayor parte batiéndola en el martillo-pilón.

El blok obtenido no es todavía un producto comercial, pues aún contiene bastantes escorias é impurezas. Para acabar de depurarlo, se le somete á la operación del *empaquetado*. Esta operación consiste en calentar á una elevada temperatura los *tochos* ó *bloks*, con lo cual se favorece la reacción de los óxidos y escorias básicas sobre los metalóides que hayan quedado sin oxidar y al mismo tiempo se refunden las escorias que han quedado aprisionadas en el metal, que podrán ser expulsadas por un nuevo batido en el martillo-pilón ó por medio de cilindros laminadores.

178. Supongamos finalmente que la fundición se encuentre completamente en estado fluido y sometida á las

mismas causas que en el caso anterior. Los resultados serán los mismos; pero si el batido ó amasado de la fundición se efectúa á mano, como en el pudlaje, la operación será mucho más lenta que en el caso anterior, pues los óxidos y escorias básicas, que son los agentes oxidantes, subirán á la superficie tanto más fácilmente cuanto más fluida esté la masa, y no solamente quedarán menos tiempo en contacto con los elementos que deben oxidarse, sino que también estorbarán la acción oxidante de los gases sobre el metal. Mas si, por el contrario, como sucede en el procedimiento de Bessemer, la masa está removida enérgicamente por una corriente de aire que la atraviesa, el tiempo de la operación se abreviará extraordinariamente, pues no sólo la acción oxidante del aire se repartirá sobre todos los puntos del metal, sino que también el fuerte batido producido apresurará todas las reacciones de que hemos hablado.

El amasado del metal no es, sin embargo, indispensable para obtener su afinación. Esta puede operarse, aunque más lentamente, dejando la materia en fusión tranquila bajo una capa de escorias ferruginosas. En este caso, la escoria es la que transmite el oxígeno del aire al metal que está recubriendo. Cuando la sílice no está en exceso y la dicha escoria es un silicato básico, el oxígeno del aire hace pasar el óxido de hierro al estado de óxido magnético, el cual, como más denso que la escoria, vendrá á ponerse en contacto con el metal. Este se oxidará y reducirá de nuevo el óxido magnético al estado de protóxido, que volverá á disolverse en la escoria y á ser nuevamente reoxidado por el aire. Este fenómeno es el que se utiliza en el afino en forjas, en el pudlaje caliente y en el procedimiento de Martin Siemens.

179. Al afinar la fundición en estado líquido, el producto puede obtenerse sólido en forma de esponja ó bien completamente fundido. En el primer caso, se refina el producto por medio del cinglado y el empaquetado. En el segundo caso, estando tanto el metal como las escorias en estado fluido, puede obtenerse su completa separación colándolo en forma

de lingote; pero antes es preciso también someterlo á un refinado, operación que se ejecuta en el mismo aparato en que se ha producido la afinación, pues á la elevada temperatura que ha sido necesaria para mantener el hierro en estado fundido, la materia que se obtiene es un hierro quemado, porque es sabido que á partir del calor blanco el protóxido de hierro se disuelve en el hierro metálico. Para hacer desaparecer estas impurezas, se incorpora al baño metálico, en el último período de la operación, una cierta dosis de ferro-manganeso ó de *spiegel eisen*. El manganeso y carbono contenido en estos productos reducen los óxidos disueltos en el hierro.

180. Según hemos indicado, aunque el principio y las reacciones generales son invariables, existen varios métodos para el afinado de la fundición, métodos que varían entre sí por los diferentes aparatos y combustibles empleados y en los cuales, por lo tanto, las manipulaciones no pueden ser las mismas.

Vamos á describir sucesivamente los diferentes métodos de afinación:

1.º Cuando se opera sobre la fundición en estado sólido, obteniéndose el producto conocido con el nombre de *fundición maleable*.

2.º Cuando el resultado se obtiene en estado sólido habiéndose operado sobre la fundición en estado pastoso ó líquido, en cuyo caso están comprendidos dos procedimientos: el *afinado en forjas* empleando carbón vegetal, y el *puclaje* ó afinado en hornos de reverbero por medio de la hulla.

Y 3.º Cuando se opera sobre la fundición en estado líquido y el producto es igualmente fluido, para lo cual se emplea principalmente el procedimiento de Bessemer, en el que el combustible es el mismo hierro y el silicio contenido en la fundición; y el procedimiento de Martin Siemens, para el cual se hace uso como combustible del gas de hulla quemado á una elevada temperatura inicial. Sin embargo, como estos dos últimos procedimientos tienen por objeto especial la fa-

bricación del acero, dejaremos su descripción para cuando tratemos de ésta.

181. Fundición maleable.—Hemos dicho que podía *dulcificarse* la fundición calentándola al rojo en contacto con peróxido de hierro en polvo, con lo cual puede eliminarse la mayor parte del carbono combinado ó disuelto.

El afino no puede ser completo por este procedimiento si la fundición no es pura, pues por él no consiguen eliminarse más que las sustancias cuyos compuestos oxidados sean gaseosos, como los del carbono y algunos del azufre y del arsénico; el fósforo, silicio, manganeso y metales extraños que pueda contener la fundición, quedarán, oxidados ó no en el producto final, que en este caso resultará generalmente quebradizo. Tampoco puede ser completo el afino si los objetos sometidos á este método exceden de un cierto espesor; si tienen más de un centímetro de grueso, el centro queda sin descarburar, y por lo tanto, no habrá perdido su fragilidad.

Para la fabricación de la fundición maleable se emplean preferentemente, en vista de lo expuesto, hierros colados con carbón vegetal de la mejor calidad. Se refunden en crisoles de 30 á 40 kilogramos de cabida y se cuelean objetos de poco espesor y de formas complicadas que hubiese sido difícil y costoso darles por la forja.

Estos objetos se colocan en crisoles cilíndricos de fundición de 30 á 35 centímetros de diámetro interior y de 50 á 80 de altura, separados entre sí por una capa de óxido de uno á dos centímetros de espesor. Generalmente se hace uso de hematites rojas reducidas á polvo ó de peróxido de hierro resultante de la calcinación de minerales espáticos, con lo que se mezcla una cierta cantidad de óxido magnético, procedente de operaciones anteriores, para aumentar la porosidad. No es indispensable que el cemento decarburante sea un óxido de hierro; podrá emplearse otro cualquier óxido de fácil reducción por el carbón, como por ejemplo, el óxido de zinc. Puede evitarse la adherencia del óxido reducido, sumer-

giendo los objetos, antes de colocarlos en los crisoles, en una lechada de tiza hecha con una disolución diluida de sal amoníaco; la ligera capa de cal con que están cubiertos durante toda la operación, impide que el cemento reducido se pegue á su superficie.

Cargados los crisoles se colocan en un horno, cuya temperatura se eleva progresivamente hasta llegar al rojo.

En este estado permanece tres, cuatro ó cinco días, según sea su espesor y antes de descargarlos se deja enfriar el horno, también progresivamente.

La forma y disposición del horno no tiene ninguna influencia sobre el resultado de la operación, con tal que pueda mantenerse á la temperatura del rojo todo el tiempo que sea preciso. Pero por razón de economía deberá escogerse con preferencia un sistema de horno en el cual la operación pueda ser continua en vez de intermitente y en que se aproveche todo el calor producido. Con este objeto M. Gruner aconseja la adopción de los hornos anulares, sistema Hofmann ó Müller, empleados especialmente en la cocción de ladrillos.

La ventaja de este procedimiento, si se escogen convenientemente sus aplicaciones, es la de ser sumamente económico. Hay una multitud de pequeños objetos, cuyo coste depende sobre todo del trabajo de su fabricación, siendo despreciable el valor de la materia en ella empleada. Por este método se da la forma á los objetos por medio del moldeo, cuyo coste es insignificante, y después de dulcificados, bastan algunos golpes de lima y de bruñido para tenerlos concluidos.

La fundición maleable es un hierro dulce y flexible como el hierro dulce, aunque un poco menos denso y resistente; á baja temperatura, puede trabajarse sin dificultad; pero al calor blanco salta en pedazos por el choque del martillo. Esto se explica fácilmente; el carbono combinado ó disuelto, es el único expulsado por el tratamiento y todo el grafito que contenía la fundición permanece intacto. Al calor blanco este grafito se disuelve en el hierro y lo convierte en fun-

dición ó en acero duro que no puede ser forjado á esa temperatura.

182. Afino en forjas.—El afino en forjas, conocido especialmente con los nombres de *afino alemán* y *procedimiento del Franco Condado*, es el primer método que se ha empleado para el afino de la fundición y, aunque va decayendo de día en día, todavía se conserva en Suecia; en Alemania, en la Silesia y en la Estiria; y en Francia, en el Franco Condado, en la Borgoña y en el Berri. La operación se efectúa en un crisol de hierro colado de forma análoga á la de las forjas catalanas, empleando como combustible el carbón vegetal.

Este crisol (fig. 37, lám. IV), está formado por cinco placas de fundición que forman un espacio de sección rectangular de 0^m,60 á 0^m,85 de largo; de 0^m,50 á 0^m,70 de ancho y de 0^m,16 á 0^m,28 de profundidad.

La placa lateral sobre cuyo borde se apoya la tobera ó toberas se llama *warma*; la opuesta *contraviento*; la que sirve para el trabajo *chío*, la cual está provista de varios agujeros para dar salida á las escorias y en la parte superior de otra placa horizontal para el trabajo; la opuesta á ésta *rustina* y la del fondo *plaza* ó *solera*.

La plaza está inclinada hacia el ángulo formado por el contraviento y el chío. Por debajo de ella está dispuesta una caja de hierro colado de unos 0^m,30 de altura por la cual puede hacerse pasar una corriente de agua fría.

Las toberas están inclinadas hacia el crisol formando un ángulo que generalmente oscila entre 7° y 10°. Están achatadas para obligar al viento á extenderse en forma de abanico. Cuando no hay más que una, el ojo tiene ordinariamente de 0^m,040 á 0^m,045 en el sentido horizontal y de 0^m,027 á 0^m,030 de altura. Cuando son dos, se colocan con un intervalo de 10 á 12 centímetros y su dimensión vertical se reduce á 0^m,01. Por último penetran en el interior del crisol unos 10 centímetros próximamente.

Las primitivas forjas de afino eran descubiertas, con lo

cual se perdía por radiación una gran cantidad de calor, que había que reemplazar por un mayor consumo de combustible. Para remediar este inconveniente se construyen las forjas cubiertas, como indica la figura, formando una caja con cuatro paredes verticales de ladrillos refractarios, sobre las que se apoya una bóveda. El muro correspondiente á la cara del chíó, tiene una abertura de medio metro próximamente de ancho, que sirve para el trabajo, y el correspondiente á la rustina tiene otra abertura menor para introducir los lingotes de hierro colado. Con esta disposición se obtiene una economía de un 20 por 100 de combustible.

Los gases que se desprenden de la forja llevan en sí una gran cantidad de calor y además son combustibles, pues se componen en su mayor parte de óxido de carbono é hidrógenos carbonados á causa de que la cantidad de carbón es relativamente grande respecto al aire inyectado y la combustión no es completa. Este calor que llevan los gases y el que puede desarrollar su combustión se aprovecha para calentar la fundición que se va á afinar, ó los lingotes que deben forjarse, ó bién para producir el vapor que pone en movimiento las máquinas sopladoras y los martillos, ó para calentar el aire que se inyecta en la misma forja ó también para tostar la leña, cuando se emplea este combustible.

La aplicación más general consiste en colocar á continuación de la forja un horno de reverbero donde se calienta la fundición que se va á afinar, y donde se dan las caldas necesarias para la forja del hierro dulce obtenido. La figura 38, lám. IV representa esta disposición. La forja ocupa el sitio que tiene ordinariamente el hogar en los hornos de reverbero; los productos de la combustión penetran en el reverbero, donde son quemados á expensas del aire que entra por las puertas del trabajo; la fundición se calienta sobre la solera en la parte más próxima á la forja, y los tochos que deben ser forjados se colocan á continuación. Si en el afino se emplea aire caliente, puede hacerse que el portaviento

atraviase el reverbero, replegándose en forma de serpentín, como indica la figura.

183. Para empezar el trabajo se llena la forja de carbón hasta algunos centímetros por encima de las toberas, el cual se enciende con los restos incandescentes de la operación anterior. Sobre el carbón se arrojan algunas paladas de escorias básicas y bataduras de forja, y los lingotes de fundición se atraviesan sobre la rustina y se hacen avanzar de manera que su extremidad quede por encima del nivel de las toberas y casi en contacto con el contraviento. Se da viento, y á los pocos momentos las escorias, entran en fusión cayendo al fondo del crisol. La fundición entra á su vez en fusión y en forma de gotas va igualmente cayendo al fondo, donde forma un baño de algunos centímetros de espesor recubierto por las escorias fundidas.

Antes de pasar adelante, deberemos recordar que alrededor de cada chorro de viento lanzado por las toberas la combustión puede considerarse descompuesta en tres zonas diferentes. En el centro la zona *oxidante* á causa del exceso de aire y falta de calor; después la zona *neutra* ó de *combustión* donde existe el máximo de temperatura y los elementos están disociados, y alrededor de esta zona puede considerarse otra en la cual, por la disminución de la temperatura, los elementos se recombinarán, y si existe un exceso de combustible abundará el óxido de carbono y será, por consiguiente, una zona *reductora*. Además de esto, y á causa de la disposición de las toberas, pueden considerarse en el foco tres regiones distintas: una *inferior*, donde no hay combustión porque el carbón contenido en ella no es alcanzado por el aire lanzado por las toberas; otra *media*, donde, por el contrario, se verifica la combustión con más intensidad en virtud de la proyección del aire sobre el combustible, región en la cual existen las tres zonas de que acabamos de hablar, y otra *superior*, donde no hay más que carbón y los gases producto de la combustión.

Según análisis ejecutados por Ebelmen, la composición

de los gases tomados en la región media y al principio de la operación, es la siguiente:

| | |
|--------------|--------|
| CO^2 | 20,73 |
| CO | 3,06 |
| H | 0,70 |
| Az | 75,51 |
| | <hr/> |
| | 100,00 |

Un poco más arriba, la proporción de ácido carbónico disminuye y la de óxido de carbono aumenta.

Y más arriba, en el borde del contraviento, donde se colocan los lingotes de fundición, los gases tienen la siguiente composición:

| | |
|--------------|--------|
| CO^2 | 1,64 |
| CO | 29,20 |
| H | 1,92 |
| Az | 67,24 |
| | <hr/> |
| | 100,00 |

A medida que la operación avanza, y que por lo tanto se va consumiendo el carbón, la cantidad de óxido de carbono disminuye, y, por el contrario, en el análisis de los gases se encuentran cantidades de oxígeno cada vez mayores.

Dicho esto, continuemos describiendo la operación. Decíamos que los lingotes de hierro colado se colocaban atravesados sobre la rustina y de manera que su extremo estuviese lo más cerca posible del contraviento. Según lo que acabamos de mencionar, en este sitio la atmósfera es más bien reductora que oxidante, y, por lo tanto, la fusión del hierro colado se efectuará sin que experimente oxidación sensible. Pero en virtud de esta disposición las gotas de hierro colado que van cayendo al fondo del crisol tendrán que atravesar el

chorro de viento y pasar por la zona oxidante, con lo cual el metal experimentará un principio de afino, oxidándose preferentemente el silicio y el manganeso. La sílice y el óxido de manganeso que provienen de esta oxidación se unirán á las escorias añadidas precedentemente, y encontrándose generalmente la sílice en mayor proporción, se formará una cierta cantidad de escorias ácidas ó neutras, que ocuparán la parte superior del baño á causa de su mayor fluidez.

Cuando se ha fundido la cantidad de hierro colado que puede tratarse en el crisol, se retiran los lingotes y entonces se da verdaderamente principio al trabajo del afino.

Desde luégo es conveniente desembarazarse de las escorias ácidas que tienden á absorber hierro para convertirse en escorias neutras, lo cual se ejecuta abriendo las aberturas superiores del chílo, y se deja la fundición recubierta solamente de un baño de escorias cuya basicidad va aumentando á medida que avanza la operación. Estas escorias, como ya hemos dicho (178), son el principal elemento del afino, sirviendo de vehículo al oxígeno, y por esto, cuando conviene apresurar el trabajo, no sólo se conservan, sino que se añade además una nueva cantidad procedente de operaciones anteriores. El operario, valiéndose de su espetón, amasa la materia fundida para aumentar los puntos de contacto entre sus diversas partes, y procura separarla de la warma y aproximarla á la parte sometida á la acción del viento de la tobera, el cual transforma constantemente en óxido magnético al protóxido de hierro de las escorias básicas, cuyo óxido magnético es transformado á su vez en protóxido en contacto con el hierro, y una parte es reducida por el carbono y demás cuerpos extraños, y por consiguiente se va produciendo el afino.

Este tendrá lugar tanto más rápidamente, cuanto más íntimo sea el contacto entre el metal y las escorias, y con este objeto el operario procura que la masa se conserve en estado de fusión pastosa, disminuyendo la presión del viento, ó añadiendo nuevas escorias. Muy frecuentemente, cuando es

preciso aumentar la energía del afino, ya porque las fundiciones sean muy impuras, ó porque sea muy grande la cantidad sobre que se opera, se recurre al siguiente procedimiento. Se fija el baño de fundición, bién separando los carbones que la cubren y deteniendo el viento, ó bién haciendo pasar una corriente de agua bajo el fondo de la plaza, y sin cesar de remover la masa con el espetón, se la rocía con agua y se la añaden algunas paladas de batiduras de forja ó de escorias básicas, hasta que se haya solidificado y formado una zamarra, ó dos ó tres si la cantidad de fundición es muy considerable. Estas zamarras se levantan con los espetones y se colocan sobre la carga de carbón de manera que estén más directamente sometidas á la acción del viento las que se encuentren menos afinadas, que serán las que estaban más próximas á la warma. Se fuerza el viento, y la masa volverá á fundirse, lo cual activa la reacción entre las escorias y el hierro, y caerá al fondo del crisol, donde el operario vuelve á trabajarla con un espetón. Algunas veces es necesario hacer dos ó tres levantes de esta especie; pero otras, cuando las fundiciones son puras y la cantidad tratada no excede de 80 kilogramos, se hace únicamente un solo levante parcial; es decir, que el obrero remueve la masa con un espetón, y solamente levanta sobre y delante de las toberas aquellas partes cuyo afino se encuentra muy atrasado con relación al del resto de la masa.

Conforme se van eliminando los elementos extraños, silicio, azufre, fósforo y carbono, el hierro va tomando consistencia, y finalmente, se solidifica. El operario va reuniendo y soldando los diferentes grumos de hierro esparcidos por el fondo del crisol, y los que no pueden soldarse, lo cual es indicio de que no están completamente afinados, los vuelve á levantar delante de las toberas, donde acaban de afinarse. De esta manera forma una bola ó zamarra de hierro más ó menos descarburado, según la calidad que se haya deseado obtener. En este estado se activa el fuego para fundir todas las escorias, que se hacen evacuar por el chíó, se golpea la

zamarra para hacer desprender las escorias y carbones adheridos á ella; y finalmente, se coje con unas tenazas y se lleva al martillo para cinglarla. Después de lo cual no resta más que someterla al empaquetado para acabar de expulsar todas las impurezas.

184. La operación varía en algunos detalles y sobre todo en el tiempo de su duración, según la naturaleza de las fundiciones tratadas y la cantidad sobre que se opera.

A medida que las fundiciones son más impuras, el trabajo del afino debe ser mayor y durar más tiempo; así es que en Silesia, donde se afinan fundiciones grises al cok, no puede prescindirse de hacer uno ó más levantes; en el Franco Condado, donde se opera sobre fundiciones al carbón vegetal, más puras que las obtenidas con cok, no es necesario hacer levantes, bastando con un simple batido del baño metálico; y en la Estiria, donde se hace uso de fundiciones blancas puras y manganesíferas, el afino se efectúa por el simple contacto del metal fundido con escorias básicas y todo el trabajo está reducido á formar la bola inmediatamente después de la fusión. En general, las fundiciones grises son más difíciles de afinar que las fundiciones blancas por ser menos fusibles y por la cantidad de carbón que contienen en estado de grafito, que no puede disolverse en su totalidad á la temperatura de la forja, inferior á la del horno alto; y por esto en muchas fábricas, antes de afinar las fundiciones grises las someten á la operación del blanqueo.

185. El blanqueo de las fundiciones puede operarse de diversas maneras, siendo la más sencilla de todas el enfriarla bruscamente en el momento de la colada para impedir que el carbono disuelto en ella pueda separarse en estado de grafito durante su solidificación.

Esto puede conseguirse, ó bien colando la fundición en forma de placas delgadas sobre lingoteras de hierro colado, como se hace en Inglaterra, ó bien colándola de la manera ordinaria en canales de arena y arrojando sobre ella un chorro de agua, ó bien por otro procedimiento que consiste

en llenar con ella un agujero cónico abierto cerca del alto horno y rociarla con una cierta cantidad de agua. Este agua se evapora y la parte superior del baño de fundición se solidifica; se retira esta parte y se vuelve á arrojar otra cantidad de agua, que dará lugar á la formación de otra plaqueta de fundición, y de este modo se continúa hasta agotar toda la fundición que se había vertido en el agujero.

El blanqueo por enfriamiento no elimina ninguna de las impurezas de la fundición, ni hace disminuir la cantidad de carbono contenido en ella, y solamente facilita el afino porque dicho carbono se encuentra disuelto, y en disposición, por consiguiente, de ser fácilmente oxidado.

Puede blanquearse también la fundición en el mismo crisol del horno alto por dos métodos diferentes, con los cuales se consigue al mismo tiempo un principio de afino.

Una hora ó dos antes de verificarse la sangría del horno, se introduce por las toberas una cierta cantidad de mineral muy puro ó de batiduras de forja y se remueve con un espetón. El oxígeno del mineral no sólo quemará una parte del carbono que la fundición contiene, sino también algunos de los elementos extraños, particularmente el silicio; y por lo tanto, la fundición no sólo se habrá blanqueado, sino que también habrá quedado afinada en parte.

Este mismo resultado puede obtenerse sin introducir mineral en el crisol del horno alto, valiéndose como elemento oxidante del mismo aire lanzado por las toberas, que se dirige sobre el baño de fundición. Para esto, se forma con arcilla en el hocico de la tobera una especie de pantalla que obligue al viento á dirigirse hacia el crisol, se cierra el antecrisol, si el horno es de delantera abierta, y se aumenta la presión del viento. El oxígeno de este aire blanqueará la fundición decarburándola y haciéndola perder al mismo tiempo una cierta proporción de silicio.

186. El afino puede también verificarse en dos operaciones distintas. En una primera forja se funde simplemente el metal con escorias ricas é inmediatamente se cuele sobre

arena húmeda en forma de plaquetas que concluyen de afinarse en otra forja por los métodos ordinarios.

Este sistema conviene en el tratamiento de las fundiciones fosforosas, pero no es económico porque aumenta el gasto de combustible; así es, que en el día se ha abandonado por completo, excepto en Inglaterra, donde se emplea para la fabricación de hierros de calidad superior destinados á la fabricación de la hoja de lata, verificando la primera parte de la operación en forjas alimentadas con cok.

187. La duración del trabajo varía naturalmente con la especie de fundición tratada, y sobre todo con el peso de la carga que se emplee. Según Gruner, en Suecia, donde hay forjas en que no se trata de cada vez más que 30 á 40 kilogramos de fundición, y ésta es muy pura, la operación no dura más que media hora. En el Franco Condado y en el Berri, donde se opera sobre 80 á 140 kilogramos, se tarda en acabar el afino de una hora y media á tres horas, y en Alemania se suele tardar desde cinco hasta ocho horas porque se trata en cada operación de 180 á 200 kilogramos de fundición.

La merma de la fundición tratada varía desde un 25 á un 30 por 100, y el consumo de combustible entre el simple y el doble del peso del hierro obtenido. En el Album de M. Jordán, se expresa que en la fábrica de Audincourt (Franco Condado) cada forja hace en veinticuatro horas próximamente nueve operaciones, y cada operación produce de 110 á 190 kilogramos de hierro.

La producción diaria, es pues, de 1000 kilogramos de hierro próximamente, y la producción mensual llega á 25000. El consumo por tonelada de hierro, es de 1290 á 1320 kilogramos de fundición y de 50 á 53 hectólitros de carbón vegetal. La presión del viento, es de 50 á 55 milímetros de mercurio.

188. En las forjas de afino, lo mismo que en los hornos altos, presenta grandes ventajas económicas el empleo del aire caliente. Desde luego se economiza una cantidad de

combustible que, en las forjas cubiertas, puede llegar hasta un 16 por 100. Además, verificándose la fusión más rápidamente, la fundición se oxida menos durante esta parte de la operación y se obtiene con esto una economía de hierro colado que puede variar desde un 3 á un 7 por 100; y por último la operación se efectúa más pronto, resultando un ahorro de tiempo bastante importante.

La temperatura del aire más conveniente es de 80 á 120 grados para las fundiciones grises y de 160 á 180 para las fundiciones blancas.

189. El carbón vegetal es el único combustible que puede emplearse en el afino en forjas. Los carbones minerales, por la gran cantidad de cenizas que contienen y por la naturaleza arcillosa de ellas, no pueden servir para este uso porque dichas cenizas hacen las escorias poco fusibles y una gran parte de ellas quedarían aprisionadas en el metal sin poder ser expulsadas por el cinglado. Sin embargo, si se emplea el aire caliente, puede hacerse uso de la turba y de toda especie de combustibles vegetales, como la leña seca ó tostada y aun verde, ya sola ó ya mezclada con carbón.

190. Forjas inglesas de afino.—Hemos indicado (**186**) que el afino del hierro podía efectuarse en dos operaciones distintas, verificándose la primera en forjas alimentadas con cok. El objeto de esta operación es desembarazar al metal de la mayor parte de las sustancias extrañas, particularmente del silicio y el fósforo, dejándole sin embargo la cantidad de carbono suficiente para que pueda extraerse de la forja en estado líquido. Si se continuara el afino hasta que el hierro tomase consistencia, se obtendría, según hemos dicho (**189**) un metal de muy mala calidad.

El producto obtenido, conocido en inglés con el nombre de *fine-metal*, se acaba de afinar en forjas con carbón vegetal ó en hornos de reverbero, como luégo veremos.

Las forjas para obtener el *fine-metal*, conocidas generalmente con el nombre de forjas inglesas de afino, por haber tenido su origen en Inglaterra, donde casi exclusivamente

se conservan hoy día, se componen (figs. 39 y 40, lám. IV) de un crisol rectangular de 1^m,25 á 1^m,50 de longitud, 0^m,80 á 1^m de ancho y 0^m,25 á 0^m,30 de profundidad. Tres de sus caras son cajas de fundición por cuyo interior circula constantemente una corriente de agua para impedir que se fundan por la elevada temperatura que se desarrolla, y la anterior es una placa sólida de fundición de 6 á 8 centímetros de grueso con una piquera en la parte inferior para dar salida á las escorias y al *fine-metal* y verterlas en una lingotera de hierro colado de poco fondo establecida en el mismo piso del taller. La plaza es de arena apisonada sobre un macizo de ladrillos.

Las toberas, en número de 6 ú 8, están dispuestas en los lados mayores á una distancia de 0^m,40 unas de otras y colocadas de modo que las de un lado estén frente á los intervalos de las del lado opuesto, penetran de 10 á 12 centímetros en el interior de la forja, y su hocico queda cubierto por el baño de escorias que recubre la fundición, por cuyo motivo están expuestas á una elevada temperatura, y para impedir que se destruyan, están formadas por una doble cubierta de palastro con circulación de agua.

Sobre la forja suele colocarse una chimenea de poca altura con una campana, que insiste sobre columnas de fundición y cuyo único objeto es expulsar al exterior los gases que se desprenden.

La cantidad de fundición que se trata de cada vez varía de 1000 á 2000 kilogramos, según su calidad y las dimensiones de la forja.

Después de terminada una operación, se limpia el crisol, se dejan los carbones candentes que han sobrado de ella y se vuelve á echar carbón hasta cubrir las toberas. Sobre este carbón se colocan los lingotes de fundición con una cierta cantidad de escorias y batiduras y encima de todo más cantidad de carbón, y se da viento. Las escorias y el hierro colado van fundiéndose poco á poco y bajo la acción oxidante del aire lanzado por las toberas, se irá oxidando el

silicio, manganeso y fósforo formando silicatos y fosfatos que se unen á las escorias. La oxidación del carbono continúa después siendo necesario tener cuidado de que no avance más de lo conveniente.

Para facilitar las reacciones, el operario remueve el baño líquido con un espetón, y saca del fondo del crisol, volviendo á colocarlos sobre las toberas, los trozos que hayan podido caer sin fundir. El aspecto de las escorias que quedan adheridas al espetón cuando saca éste de la forja, le da á conocer el estado en que se encuentra la operación. Al principio, las escorias se apagan en seguida que se retiran del foco, después permanecen enrojecidas un cierto tiempo, y por último, cuando después de frías se presentan blancas, es señal de que la operación está terminada.

Llegado á este punto, se rompe la piqueta y se da salida al metal líquido, el cual se extiende por la lingotera de fundición recubierto por las escorias. Se separan éstas con un rastró, y el *fine-metal* se rocía con agua para acabar de enfriarlo y hacerlo quebradizo; después de lo cual se rompe con una maza en trozos, cuya mayor dimensión no exceda de unos 20 centímetros.

Una forja de seis toberas, marchando con mucho viento, con cok de buena calidad y fundiciones medianamente afinables, puede producir diariamente de 20 á 24 toneladas de *fine-metal*, con un consumo de 300 á 400 kilogramos de cok por tonelada de fundición y una merma de 12 á 20 por 100. En algunas fábricas de Inglaterra se hace llegar á la forja la fundición líquida desde el horno alto, y de este modo, el tiempo de la operación se reduce á una media hora y el consumo de cok á unos 200 kilogramos por tonelada.

El *fine-metal* contiene casi todo el carbono que existía en la fundición de que proviene, pero está exento de la mayor parte del silicio, manganeso y fósforo. A causa de la naturaleza básica de las escorias, y tal vez también por la escasez del óxido de carbono, los fosfatos no son reducidos y quedan en las escorias. En cambio, en el *fine-metal* puede

existir mayor proporción de azufre que la que existía en la fundición, lo cual se atribuye á la naturaleza sulfurosa del combustible.

191. Afino en horno de reverbero.—La escasez cada vez mayor de leña, y por lo tanto, la carestía de este combustible, hicieron pensar en sustituirla en el afino de la fundición por los carbones minerales, lo mismo que ya se había hecho en los hornos altos. Acabamos de ver que en contacto con el cok, la fundición no puede ser completamente afinada, y por consiguiente, mucho menos se podrá con la hulla sin destilar, que introduciría en el hierro mayor cantidad de impurezas. Es preciso, pues, para poder verificar el afino con estos combustibles, que la fundición no se halle en contacto ni mezclada con ellos. Ningún aparato satisface á estas condiciones mejor que el horno de reverbero, pues en él, el metal se encuentra separado del combustible y en contacto únicamente con la llama que produce su combustión.

Por medio del reverbero, es como consiguió Cort en Inglaterra producir el afino del hierro colado valiéndose de la hulla. Al principio los productos eran de mala calidad, y no podían obtenerse sino con fundiciones blancas muy puras y poco carburadas. Para afinar fundiciones comunes era preciso convertirlas primero en *fine-metal*. Las dificultades con que se tropezaba para obtener buenos hierros, no eran debidas más que á la naturaleza de los materiales de que se componían los reverberos, los cuales estaban construídos de la manera ordinaria; es decir, las paredes de ladrillos refractarios y la plaza de arena apisonada. Ahora bién, ya hemos visto (177) cuál es el efecto del predominio del elemento silicio. La arena de la plaza en estos aparatos se combinaba con el óxido de hierro formando protosilicatos ó bisilicatos y dificultaba por consiguiente la oxidación del silicio é impedía la eliminación del fósforo. Fué preciso, pues, que en una operación preliminar se hicieran desaparecer estos elementos extraños y este fué el origen de las forjas inglesas de afino por medio del cok.

Con objeto de remediar estos inconvenientes, por el año de 1825, se empezaron á hacer las plazas de estos reverberos, de ladrillos refractarios recubiertos de una capa de escorias apisonadas sobre ellos. Los resultados obtenidos fueron mejores; pero este sistema tenía todavía sus inconvenientes; las escorias, fundiéndose durante la operación, formaban, con la arcilla de los ladrillos sobre que insistían, silicatos fusibles y el horno se destruía rápidamente.

Por fin, entre los años 1830 y 1840, empezó á generalizarse el uso de reverberos, cuya plaza estaba constituida por una placa de fundición dispuesta de manera que el aire pudiera circular bajo ella y enfriarla. Sobre esta placa se disponía una capa de escorias y óxidos de hierro, que se hacían fundir de antemano forzando la temperatura del horno; y las paredes, hasta una cierta altura, se recubrían también de un revestimiento de la misma naturaleza llamado *cordón*, que en un principio se colocó sobre los mismos ladrillos refractarios y que posteriormente se ha reemplazado por placas de fundición como la plaza y aun por cajas huecas del mismo metal enfriadas por una corriente de agua. Todo este revestimiento se funde difícilmente durante la operación á causa de su contacto con las placas de fundición enfriadas exteriormente, y el afino, efectuándose fuera del contacto de la sílice, marcha sin dificultad, favorecido además por la naturaleza básica del revestimiento del horno.

En el día, aunque no se ha abandonado por completo el primitivo procedimiento, el afino de toda clase de fundiciones se verifica directamente en los reverberos.

Este sistema de afino se conoce con el nombre de *pudlaje*, y los hornos en que se verifica con el de hornos de pudlar, palabras tomadas del verbo inglés *to puddle* (remover, amasar).

192. Descripción del horno de pudlar.—El horno de pudlar, como todos los hornos de reverbero, se compone de tres partes principales: el *hogar*, el *laboratorio* y la *chimenea*.

El hogar (figs. 41 y 42, lám. IV), es el sitio donde se quema el combustible, ya sea éste sólido, líquido ó gaseoso. A pesar de las ventajas que presenta el empleo de los combustibles gasificados, en el día, si se exceptúa en Suecia y en Austria donde, por la escasez de hulla, emplean combustible gaseoso, no se ha generalizado todavía su uso en los hornos de reverbero para pudlar y en todas partes se sigue empleando la hulla; debiendo, por lo tanto, estar dispuesto el hogar para recibir un combustible sólido.

Está provisto de una parrilla compuesta de barrotes de fácil reemplazo y debajo existe un cenicero espacioso para permitir libre acceso al aire.

El combustible se carga por una tolva lateral, la cual se tapa con una cierta cantidad de carbón que se deja en ella.

Para limpiar de cenizas el hogar y dar acceso á mayor cantidad de aire, si es necesario, hay practicados en la pared posterior del horno, é inmediatamente encima de la parrilla, tres ó cuatro registros, ordinariamente cerrados por una portezuela de hierro colado y por los cuales puede introducirse un espetón.

La superficie de la parrilla es el tercio de la del laboratorio. El *laboratorio* es la parte del horno donde se introduce el hierro colado que se va á afinar y donde se producen todas las reacciones; y como éstas se verifican por la acción oxidante de la llama y por el baño de escorias fundidas, es preciso que su superficie sea la mayor posible con relación al volumen de las materias que deba contener. Generalmente esta superficie varía entre $2\text{m}^2,16$ á $2\text{m}^2,70$, y el espesor del baño líquido no puede exceder de 30 á 35 centímetros.

Está separado del hogar por un pequeño muro llamado *puente* y de la chimenea por otro más corto llamado *puentecillo*.

El hogar y el laboratorio están cubiertos con una bóveda que se baja progresivamente hacia la chimenea con objeto de que la temperatura sea uniforme en todos los puntos.

En uno de los costados del horno, correspondiendo al

centro del laboratorio, existe una puerta de unos 40 centímetros de lado, que se abre solamente para cargar la fundición ó para extraer los productos. Durante la operación se mantiene cerrada para evitar que el aire exterior enfríe el horno y todo el trabajo se efectúa por una abertura de un decímetro cuadrado de superficie practicada en la parte inferior de dicha puerta. Bajo el marco que la sostiene, hay una piquera para dar salida á las escorias, la cual se tapa con arcilla durante la operación.

Para que el operario pueda desde dicha abertura llegar á todas las partes del laboratorio, las paredes interiores del lado de la puerta de trabajo están inclinadas suficientemente para conseguir este objeto, como indica la figura 41, coincidiendo el vértice del ángulo que forman, próximamente con el centro de la referida abertura. La inclinación de las dos paredes es diferente, con objeto de estrechar el horno hacia la parte más lejos del hogar, y conseguir la uniformidad de temperatura. La pared opuesta á la puerta tiene la forma de un arco de círculo, cuyo centro coincide próximamente con el de la puerta (fig. 41) ó está exterior al horno sobre la perpendicular en el centro de dicha puerta.

Hay también hornos dobles (fig. 50, lám. V) que tienen dos puertas de trabajo opuestas, y cuyo laboratorio por esta circunstancia es perfectamente simétrico. Pero estos hornos no se emplean generalmente más que en algunos procedimientos mecánicos de pudlaje.

La plaza ó solera del laboratorio está constituida por una placa de fundición, que puede ser sencilla ó estar formada por la yuxtaposición de otras dos ó tres de 6 á 8 centímetros cada una, apoyada por sus bordes sobre las paredes del horno, de manera que su superficie inferior quede en contacto con el aire exterior. La plaza se recubre con una capa de 8 á 10 centímetros de espesor de escorias básicas y baticuras de forja ó mineral rico, á la que se hace adquirir la forma pastosa forzando la temperatura del horno, en cuyo estado se apisona é iguala con una pala.

En los hornos para efectuar el pudlaje seco (figuras 41 y 42), las paredes, lo mismo que los puentes, son de ladrillos refractarios, recubiertos hasta una altura de 30 á 35 centímetros por un cordón de escorias como la plaza.

En los hornos para el pudlaje caliente ó hirviente (figuras 43 y 44. lám. IV) no puede conservarse esta disposición, y es preciso que los costados laterales y los puentes sean de fundición lo mismo que la plaza. Los puentes son dos cajas de fundición huecas colocadas sobre la plaza, y por cuyo interior puede circular el aire, enfriándose además generalmente por un chorro de agua fría, y las paredes laterales son dos placas de fundición descubiertas por la parte exterior. Toda la superficie del laboratorio que ha de ocupar la fundición, se cubre de una capa de escorias, como hemos dicho, y los puentes se protegen contra la acción de las llamas, recubriendo con ladrillos refractarios su parte superior y la superficie que mira al hogar.

Cuando se necesita obtener una temperatura más elevada, en el pudlaje de hierros superiores ó del acero, los puentes y las paredes laterales se componen de cajas de fundición dispuestas sobre la plaza, y que se mantienen llenas de agua, que se renueva constantemente. Las figuras 45, 46 y 47, lám. V, representan esta disposición.

En la extremidad del horno opuesta al hogar se encuentra la chimenea, á la cual se da una altura de 10 á 15 metros para provocar el tiro suficiente. Pero como es preciso poder variar á voluntad la temperatura en los diferentes períodos de la operación, existe en su parte superior una válvula que el pudlador puede abrir más ó menos por medio de una cadena.

Cada horno puede tener su chimenea especial, ó bien puede haber una chimenea común á varios hornos, en cuyo caso cada uno se reúne á ella por medio de un conducto, generalmente subterráneo. En este caso, los registros para arreglar el tiro del horno, deben estar en estos conductos y no en la chimenea. Para el buen aprovechamiento del calor,

la sección de estos conductos ó tragantes no debe ser inferior de $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{6}$ del hogar, y deberá procurarse que vayan lo más directamente posible á la chimenea sin formar recodos.

193. El calor sobrante de los hornos de pudlar, se aprovecha comunmente en calentar al rojo la fundición que se va á afinar, y en la producción de vapor para alimentar los martillos cingladores y las máquinas que ponen en movimiento los laminadores.

A este efecto, los hornos modernos tienen á continuación del laboratorio un recinto (figs. 46 y 47) con una puerta lateral, donde se introducen durante una operación los lingotes que han de servir para la siguiente. La plaza de este recinto es una placa de fundición cubierta de arena apisonada.

Para el caldeo de los generadores de vapor pueden adoptarse diversas disposiciones. En el Creusot, los gases que salen del horno de pudlar, se dirigen á una chimenea de ladrillos (figs. 45, 46 y 47) en cuyo eje se coloca una caldera vertical. El espacio anular comprendido entre la caldera y la chimenea, está cerrado en la parte superior de ésta por un techo de palastro, en el cual hay dispuestas dos chimeneas, igualmente de palastro, en las que se colocan las válvulas para arreglar el tiro.

194. Hemos indicado que había dos procedimientos ó variedades de pudlaje: el pudlaje *seco* y el pudlaje *caliente*, llamándose seco á aquel en que se opera sobre la fundición en estado de fusión pastosa, y caliente, cuando el afino se produce manteniendo la fundición con la mayor fluidez posible. Pero además de estos dos tipos extremos, existen varios intermedios que se aproximan más á uno que á otro, según la naturaleza del metal que se afina ó del producto que se desea obtener.

195. Pudlaje seco.—Preparada la plaza del horno como se ha dicho (**192**) y caliente éste, se procede á hacer la carga, que es de 200 á 250 kilogramos de lingotes de fundición de 30 á 40 kilogramos de peso ó de chapetas de *fine*-

metal de 20 á 25 kilogramos, las cuales se colocan cerca del puente. Puede en este caso hacerse uso del horno primitivo representado en la figura 40.

Con la fundición debe haberse introducido en el horno una cierta cantidad de escorias ricas y óxidos de batiduras, tanto mayor cuanto más carburado es el metal que se trata de afinar.

Cargado el metal que se va á pudlar, se cierra la puerta del horno, se añade combustible al hogar y se abren los registros de la chimenea, para aumentar la temperatura y apresurar la fusión.

Al cabo de veinte ó treinta minutos, la fundición se encuentra en estado de fusión pastosa ó más bién con una consistencia arenosa. El operario la acaba de disgregar con su espetón y cuando la tiene extendida sobre la plaza, cierra el registro de la chimenea para que no acabe de fundirse y empieza el trabajo del pudlaje.

Este se verifica removiendo constantemente la masa con un espetón cuya extremidad está doblada en ángulo recto, el cual introduce por la abertura de la puerta de trabajo, haciéndole recorrer las diferentes líneas divergentes, que parten desde ella á los diferentes puntos del contorno de la plaza, con un movimiento de vaivén. Como ya hemos dicho (177), la operación marcha más rápidamente cuando la materia se encuentra, como en este caso, en estado de fusión pastosa, que cuando está completamente fluida. Cuanto mayor es la fluidez de la masa, más pronto recobran la fundición y escorias líquidas la posición que les corresponde según sus respectivas densidades después de haber sido mezcladas con el espetón, y el baño de escorias protegerá mejor á la fundición contra la oxidación directa de la llama. Por el contrario, en el estado de fusión pastosa, las escorias y la fundición quedan mezcladas por más tiempo, lo cual facilita su mútua reacción, y el metal, en contacto del aire, se oxida y decarbura con más rapidez.

A medida que avanza la operación, el metal va perdién-

do sus impurezas; el silicio y manganeso son los primeros que se eliminan en mayor proporción y pasan á las escorias en forma de silicatos: después de éstos, el fósforo se elimina formando fosfatos que pasan igualmente á las escorias: el azufre desaparece en su mayor parte en forma de ácido sulfuroso que se desprende, y por último, el carbono en estado de óxido de carbono ó ácido carbónico.

El metal va perdiendo su fusibilidad, según va desapareciendo el carbono; y para que la masa conserve la misma consistencia y pueda ser batida con el espetón, es indispensable ir forzando al mismo tiempo la temperatura, lo cual ejecuta el operario abriendo poco á poco el registro de la chimenea.

Cuando el hierro empieza á estar afinado, las partículas metálicas del baño pierden su consistencia arenosa, y en vez de resbalar unas sobre otras, empiezan á reunirse formando grumos que se van soldando entre sí. Entonces ha terminado el pudlado propiamente dicho, es decir, el *braceo* del metal, operación que en este caso no dura más de veinte á treinta minutos.

En seguida empieza el trabajo de formar las *bolas*. Se fuerza el fuego, abriendo el registro y cargando el hogar para que se fundan bién las escorias de que está empapada la masa esponjosa de hierro que se ha formado, y con un espetón se esprimen estas escorias y se forman cinco ó seis bolas, que se hacen rodar por la plaza para recoger todos los grumos de hierro y se van colocando cerca del puente. Esta operación debe hacerse con la mayor rapidez posible para evitar las pérdidas por oxidación.

Por último, formadas las bolas, no resta más que ir las sacando del horno para someterlas á las operaciones del *cin-glado* y *empaquetado*.

La operación dura de una hora á hora y media, según la naturaleza de las fundiciones, y en cada horno pueden hacerse de diez á catorce operaciones por día.

El consumo de hulla, si es de buena calidad, es de 1000

á 1300 kilogramos por tonelada de hierro bruto, y la merma varía generalmente de un 7 á un 10 por 100.

Descargado el horno, se rocían con agua las escorias que han quedado en él, las cuales se sacan con una pala, se repara el revestimiento si es necesario y se procede á una nueva operación. El revestimiento de la plaza y costados, con las reparaciones que se hacen después de cada operación, dura generalmente una semana.

El pudlaje seco es el procedimiento primitivo que se empleaba para pudlar las fundiciones semiafinadas procedentes de las forjas inglesas, y hoy día se emplea también en el afino directo de fundiciones blancas poco carburadas y siliciosas cuando se quieren obtener económicamente hierros ordinarios.

196. Pudlaje caliente.—A la inversa de lo que sucede en el pudlaje seco, por cuyo método no pueden tratarse sino materias primeras que satisfagan á ciertas condiciones, el pudlaje caliente puede emplearse en el afino directo de cualquier clase de fundición; pero generalmente se hace uso de él cuando las fundiciones son muy carburadas ó siliciosas; es decir, en el tratamiento de fundiciones grises ó blancas especulares, pudiendo obtenerse toda especie de hierros, desde el hierro dulce hasta el acero.

Para obtener el hierro dulce ordinario puede hacerse uso del horno representado en las figuras 43 y 44; pero para el hierro duro superior es necesario que las paredes estén enfriadas más enérgicamente, y por eso el pudlaje debe hacerse en el horno de las figuras 45, 46 y 47.

El período de la fusión en el pudlaje caliente no se diferencia del correspondiente en el seco sino en que se deja que la fundición se funda completamente. Esta se saca del compartimiento del horno, donde se había colocado durante la operación anterior, con la anticipación suficiente para que adquiera la temperatura del rojo, y se introduce en el laboratorio con la cantidad conveniente de escorias y batiduras. Se fuerza la temperatura y al cabo de una media hora toda

la carga está fundida, formando un baño de 2 á 3 centímetros de espesor.

Entonces empieza el período del braceo ó pudlaje, el cual se efectúa, como en el seco, removiendo el baño líquido con un espetón. El baño de fundición, encontrándose comprendido entre la capa de óxido que forma la solera y las escorias fundidas que le cubren, podría afinarse completamente sin necesidad de removerlo, pues las escorias superiores sirven de vehículo al oxígeno del aire, como ya hemos dicho (178), y las batiduras de la parte inferior oxidarían también por su contacto los elementos extraños; pero la operación se prolongaría mucho, ocasionando un gran consumo de combustible y el producto sería poco homogéneo. Es conveniente, por consiguiente, remover la masa, pues mezclándose las escorias con el metal, las reacciones se verificarán con más rapidez y además la homogeneidad será tanto mayor cuanto más activo sea el braceo. De este modo se oxidarán desde luego el silicio y manganeso, después el fósforo y el azufre, y por último el carbono cuando ha terminado la escorificación.

Cuando el carbono empieza á oxidarse, se desprende en estado de óxido de carbono en forma de burbujas que se inflaman al salir á la superficie, el baño toma un aspecto espumoso y va creciendo hasta el punto de derramarse parte de las escorias por la abertura del trabajo y por encima del puentecillo.

Se continúa removiendo con el espetón y aumentando la temperatura del horno para conservar fundida la masa el mayor tiempo posible, hasta que el hierro, suficientemente decarburado, no puede mantenerse en fusión y se coagula en grumos, que se van soldando unos á otros, presentando el aspecto de coliflores de un blanco brillante en el baño de escorias de un color más rojo.

En este estado, el operario comienza á formar las bolas lo más rápidamente posible y cierra el registro de la chimenea para disminuir las mermas por oxidación. Cuando las

bolas están formadas, antes de sacarlas para cinglarlas, las da un calentón para aumentar la fluidez de las escorias y que sean más fácilmente esprimidas.

En el pudlaje caliente el braceo dura de una hora á hora y cuarto, y dos horas próximamente toda la operación.

197. Pudlaje mecánico.—El pudlaje es uno de los trabajos más penosos que se conocen. El pudlador necesita desarrollar gran fuerza muscular, al propio tiempo que está expuesto á una temperatura que excede en muchos casos del doble de la ordinaria del cuerpo humano. Hemos presenciado en el Creusot un experimento que comprueba esta aserción. A un pudlador se le colocó un termómetro en el pecho y otro en la espalda, y á los tres minutos, al ser reemplazado por el ayudante, el termómetro anterior marcaba 82° centígrado, y 70° el posterior, siendo la temperatura del aire ambiente de 32° á la sombra, y habiéndose verificado la prueba en un taller espacioso y ventilado. Así es que este trabajo agota las fuerzas de los hombres más robustos, y es raro el pudlador que puede llegar á la senectud. Por estas razones estos operarios están retribuídos con crecidos jornales, é interesa por consiguiente, tanto como medida filantrópica, como económica, arbitrar medios para hacer ménos rudo su trabajo.

Con este objeto se han ideado diferentes procedimientos mecánicos, con los cuales se sustituye en todo ó en parte el trabajo del pudlador. Describiremos los principales sistemas, es decir, aquellos que la práctica ha sancionado como más convenientes.

198. Procedimiento de Lemut.—Hacia el año de 1862, Mr. Lemut estableció en las ferrerías del Clos Mortier (Alto Marne), un procedimiento mecánico de pudlaje, procedimiento que en 1865 adoptaron los Sres. Wendel, instalándolo en todos los hornos de su establecimiento de la Lorena, donde funcionan todavía hoy día (1). Posteriormente

(1) *Annales des Mines*, 6^e serie, t. II y IV.

lo han adoptado diferentes fábricas. En el Creusot existen varios hornos que trabajan por el procedimiento de Lemut con mucha regularidad y buenos resultados.

El método de Lemut dispensa al operario del trabajo del braceo, y esta operación se efectúa de la misma manera que la ejecuta el pudlador en los procedimientos ordinarios, y con el mismo espetón de gancho, con la única diferencia de que el espetón recibe su movimiento por medio de un mecanismo instalado encima del horno. Este mecanismo puede adaptarse á cualquier clase de horno de pudlar, pero en general se ha adoptado en los hornos dobles.

Las figuras 48, 49 y 50, lám. V, representan la disposición sobre un horno doble. Los dos espetones *AA* están enganchados en la extremidad de las varillas *BB*, suspendidas libremente delante de las puertas de trabajo. Estas varillas están cogidas por la extremidad ahorquillada de una biela *C*, cuya otra extremidad está unida á un disco manivela *D* fijo en el extremo de un eje *E*, que gira por medio de la polea *F*, la cual á su vez recibe el movimiento del eje general de transmisión. De esta manera las varillas *B* ejecutarán un movimiento angular alternativo alrededor de su punto de suspensión, y por consiguiente los espetones *A* enganchados en su extremidad inferior un movimiento de vaivén, como el que les imprime el pudlador en el pudlaje ordinario. Pero no basta esto, pues el movimiento de los espetones se verificaría constantemente en un mismo plano vertical y no serían batidas todas las partes del baño. Es, pues, indispensable hacer variar el plano de oscilación de manera que los espetones puedan alcanzar á todas las partes del baño, y esto se consigue por medio de las palancas horizontales *G G*. Una de las extremidades de estas palancas está reunida por medio de unas bielas *HH* á dos discos manivelas *I* colocados en las extremidades de un eje *J* perpendicular al *E*, que le pone en movimiento por medio de un engranaje cónico ó de tornillo sin fin.

Para pudlar por este procedimiento se prepara y carga el

horno de la manera ordinaria, y cuando los lingotes están fundidos, el operario engancha el espetón á la varilla *B* y pone la máquina en movimiento, con lo cual empieza el período del braceo, que continúa del mismo modo hasta que el hierro se ha coagulado, sin tener que hacer otra cosa durante este tiempo más que cambiar los espetones cuando están demasiado calientes, arreglar la temperatura del horno, y cuando empieza el hervor y se vierten las escorias, irlas arrojando otra vez dentro con una pala. Pero cuando el baño ha tomado consistencia, es preciso que pare la máquina y trabaje las bolas como en el método ordinario.

Como se ve, este procedimiento, aunque no descarga por completo de trabajo al operario, le alivia, sin embargo, durante una gran parte de la operación. Además, el batido mecánico, siendo más enérgico que el ejecutado á brazo, el metal resulta más homogéneo y se disminuye la duración de la operación. Las cargas pueden aumentarse hasta 400 ó 500 kilogramos sin aumentar el tiempo de confección de las bolas, que dos obreros pueden ejecutar al mismo tiempo. La producción diaria aumenta, y el consumo de combustible disminuye notablemente. El aparato es muy sencillo y su establecimiento poco costoso.

Este procedimiento no puede, sin embargo, aplicarse á la fabricación de hierros superiores. En el pudlaje ordinario, el obrero sigue atentamente la marcha de la operación, remueve perfectamente y expone á la acción de las llamas las partes del baño, cuyo afino se encuentra más atrasado, de manera que la operación marcha con la mayor uniformidad posible. Esto no puede ser ejecutado por el mecanismo que reemplaza al trabajo del obrero; el espetón movido mecánicamente recorre sucesivamente todas las partes del baño, que de este modo se encuentran igualmente batidas cualquiera que sea el estado de su afino.

199. Horno de Pernot.—Mr. Pernot, Ingeniero del establecimiento de Saint-Chamond, instaló en el año de 1873 un sistema de hornos de pudlar, en los cuales el

batido de la fundición se obtiene por el movimiento de su plaza.

El horno de Pernot (figs. 51 y 52, lám. VI), consta de una parte fija, que comprende el hogar, la bóveda del laboratorio y el tragante de la chimenea, y otra movable compuesta de la parte inferior del laboratorio y de la plaza.

El hogar *A* se compone, como todos los hogares ordinarios para hulla, de una parrilla formada por barras de hierro colado. Es de viento forzado, el cual se introduce en el cenicero por el conducto *B*; por lo tanto, el cenicero debe estar cerrado, y para picar y limpiar de cenizas el hogar, existen en la parte posterior del horno tres ó cuatro ventanillas *c, c, c*, cerradas por portezuelas de fundición. A uno y otro lado hay dos tolvas *F' F'*, para cargar el combustible.

El laboratorio *D* es de sección circular, y la mampostería de que se construye, reposa sobre un aro de fundición *E*, el cual está inclinado alrededor del diámetro contenido en el plano diametral del horno, formando un ángulo de 6 á 7° con el horizontal. A un lado y otro de la parte más baja están las dos puertas de trabajo *G G'*. La mayor *G'* próxima al tragante, es por donde se sacan las bolas, para que el aire exterior que pueda entrar por ella no enfríe á las que están dentro del horno.

La plaza movable es un cilindro hueco *H* de 2^m,50 de diámetro interior y 0^m,35 á 0^m,40 de profundidad. El fondo es de palastro fuerte y las paredes laterales se componen de diferentes piezas de fundición ó de palastro, reunidas entre sí y al fondo por medio de remaches y consolidadas en la parte superior por un suncho de hierro. A la parte inferior del fondo está asegurada con remaches una pieza de fundición con cuatro brazos en cruz, cuyas extremidades se apoyan sobre los ejes de cuatro roletes cónicos *I, I, I*, los cuales ruedan sobre una vía igualmente cónica, practicada en la plataforma *K* que sostiene la plaza. Dicha pieza de fundición y otra análoga que tiene la plataforma *K*, están atrave-

sadas en su centro por el pivote *L* que sirve de eje de rotación y que forma con la vertical un ángulo de 6 ó 7°. Colocada la plaza en su sitio, su borde superior debe coincidir con la cara inferior del aro *E*, aunque en la práctica no sucede así, siendo preciso dejar un juego de 3 ó 4 centímetros para que puedan efectuarse libremente las dilataciones consiguientes á la elevada temperatura á que están sometidas todas estas piezas. Este juego obliga á emplear el viento forzado para alimentar el hogar; pues de no hacerlo así, el aire exterior penetraría por esa juntura atraído por la chimenea y enfriaría y oxidaría más de lo conveniente el baño metálico. Para hacer girar la plaza alrededor del referido eje *L*, existe, fija al borde inferior del cilindro, la corona dentada y cónica *M*, la cual engrana con el piñón *N*, puesto en movimiento por una máquina de 2 á 3 caballos. Para poder separar la plaza del horno y hacer en ella las reparaciones que sean necesarias, la plataforma, sobre la cual está instalada, está provista de ruedas que se mueven sobre los railes *O*.

La plaza se reviste con trozos de mineral puro, cimentados con escorias de cinglado y óxidos de batiduras ó los producidos por retales de hierro. Colocadas estas materias en la plaza, se da fuego, forzando la temperatura todo lo posible, y cuando se encuentran en estado pastoso, se hace girar la plaza y el operario con un gancho va arreglando el revestimiento, cubriendo con él los bordes y dejando en el centro una prominencia como indica la figura ya citada.

En el horno se introducen cargas que varían de 800 á 1000 kilogramos según sea la especie de fundición y el producto que se desee obtener, pudiendo introducirse la fundición en lingotes ó fundida si hay facilidad para hacerlo así. Hecha la carga se cierran las puertas y se pone en movimiento la plaza con una velocidad de tres vueltas por minuto.

Cuando el metal está ya fundido, este movimiento de rotación produce una especie de batido, puesto que la plaza está inclinada y el baño metálico tiende siempre á ocupar la

parte inferior. Además, el revestimiento se va descubriendo sucesivamente, y mientras está expuesto á la acción del aire se sobreoxida pasando al estado de óxido magnético, el cual vuelve á reducirse cuando pasa á estar otra vez en contacto con la fundición. De este modo el afino se efectúa sin la intervención directa del operario. Pero cuando el hierro empieza á coagularse, el movimiento del horno no es suficiente para operar un batido enérgico, y entonces el pudlador introduce un espetón por la puerta del trabajo y lo apoya contra el fondo de la plaza. De este modo, á causa de la rotación, todas las partes del baño vienen á estar en contacto con el espetón y el trabajo se ejecuta sin gran fatiga.

Por último, cuando todo el hierro se ha coagulado, el operario levanta y revuelve las masas férreas á medida que van pasando por delante de la puerta y en seguida comienza á preparar las bolas. Para esto, los pudladores paran el horno, cortan el sector que tienen delante de sí y con él forman una bola, que extraen por la puerta *G'* para cinglarla; vuelven á hacer marchar el horno hasta que se presente en la posición conveniente para cortar un segundo sector, y así continúan hasta concluir. Para esta última parte del trabajo la única ayuda que proporciona el mecanismo es la de poder trabajar cerca de la puerta.

Después de descargado el horno se repara la plaza y se hace una nueva carga. En el tratamiento de cada una se emplea de una hora y media á dos horas y cuarto y en veinticuatro horas se obtienen de 6000 á 10000 kilogramos de hierro.

El personal de cada horno, que se releva cada doce horas, se compone de dos pudladores, dos ayudantes y un maquinista.

En resúmen, el horno de Pernot, lo mismo que el mecanismo del sistema de Lemut, proporciona un cierto alivio á las fatigas del trabajo del pudlador. Aumenta mucho la producción diaria, y en virtud de esto se obtiene una economía de combustible de un 30 por 100 próximamente.

Se disminuye también la merma de la fundición empleada, aunque esto está compensado hasta cierto punto por el mayor uso del revestimiento, en el cual hay que gastar mayor cantidad de minerales, retales de hierro y escorias ricas. Su instalación es más costosa que la del procedimiento de Lemut; el precio de un horno de Pernot puede calcularse en unos 3000 duros.

200. Hornos rotatorios.—Por último, el sistema de pudlaje, que suprime por completo el trabajo del pudlador, es el de los hornos rotatorios, cuya primera aplicación fué hecha hacia el año 1865 por el Sr. Menelaus, Director del Establecimiento de Dowlais (País de Gales). En esta clase de hornos el laboratorio es una cuba que gira alrededor de su eje, movimiento que por sí solo es suficiente para efectuar: primero el afino de la fundición, y después la formación de las bolas.

El horno de Menelaus no llegó á obtener la sanción de la práctica, principalmente á causa de no haber podido conseguir una perfecta adherencia entre las paredes interiores del horno y su revestimiento interior, el cual se destruía rápidamente desprendiéndose en pedazos por efecto del ruedo de las masas á medio afinar.

El Sr. Samuel Danks, antiguo pudlador del Staffordshire en 1871, volvió á ensayar en América la adopción de los hornos rotatorios al pudlaje, y gracias á una nueva disposición del revestimiento, su sistema tuvo una gran aceptación. Sin embargo, el Sr. Danks no ha resuelto por completo las dificultades del entretenimiento de la capa de escorias ferruginosas que reviste el horno interiormente, y esto, unido á la dificultad que presenta el manejo y cinglado de zamarras de 300 á 500 kilogramos de peso y algunos otros inconvenientes, han sido causa de que su sistema, en boga por algún tiempo, esté á punto de ser abandonado, por lo ménos en Europa.

Posteriormente se han ideado diferentes hornos rotatorios para pudlar, los cuales no difieren del horno de Danks,

más que en algunos detalles. El Creusot presentó en la Exposición de París en 1878 un horno de esta especie para cargas de 1000 kilogramos, debido á Mr. Bouvard, Ingeniero Jefe del taller de aceros de dicho establecimiento, en el cual funcionan dos hace ya algunos años. Como creemos que el horno Bouvard corrige algunos defectos del sistema Danks, vamos á describirlo, haciendo notar de paso las principales diferencias que entre ambos existen.

201. El horno de Bouvard, como el de Danks, se compone de tres partes principales: el *hogar*, la *cámara rotatoria* y el *tragante movable* de la chimenea.

El hogar *A* (figs. 53, 54, 55 y 56, lám. VI), es de forma cilíndrica exteriormente, con objeto de resistir mejor las deformaciones que pueden provenir de la dilatación. Está forrado de una envuelta de palastro, y entre el techo de ésta y la bóveda de mampostería del hogar, queda un hueco *B*, que tiene la aplicación que ahora veremos.

El hogar es de parrilla ordinaria para hulla y de viento forzado. Este es conducido bajo la parrilla por el portaviento *C*. Con objeto de poder aumentar cuando sea preciso la acción oxidante de la llama, hay practicados en la bóveda dos conductos *D* y *D'* que pueden abrirse y cerrarse por medio de las válvulas *E* y *E'*. Estos conductos comunican con el hueco *B*, que hemos dicho existía entre la bóveda y su cubierta, al cual se hace llegar una corriente de aire por medio del portaviento *F*.

La llama pasa del hogar al laboratorio, atravesando una ancha abertura cilíndrica, en la cual existe un puente *G* formado de una caja de agua revestida de óxido de hierro del lado del horno y de ladrillos del lado del hogar.

El hogar se termina del lado del horno por una placa *H* de corriente de agua, que protege la extremidad de la bóveda de ladrillos por encima del puente.

A esta placa está fijo un anillo de frotamiento *I*, por cuyo interior circula igualmente el agua, guarnecido de una corona de acero, fácil de cambiar cuando se ha usado.

El hogar se carga por una abertura lateral provista de una tolva *K*, la cual se mantiene constantemente llena de carbón y cerrada además por una puerta de palastro. Tres ventanillas *L, L, L*, cerradas con portezuelas de fundición, permiten la limpieza de la parrilla. Para impedir que el humo ó las llamas salgan al exterior por las juntas de todas estas puertas, se hace llegar detrás de ellas una corriente de aire poniéndolas en comunicación con el depósito superior *B* por el intermedio de unos conductos *a, a, a*.

El laboratorio *M* es una cámara ó tambor giratorio formado por una doble pared metálica con circulación de agua. Su interior está revestido de una capa de óxido de hierro de un espesor suficiente para que permita elevarse la temperatura á pesar del enfriamiento exterior.

En los dos bordes del tambor hay dispuestas dos coronas de acero, de fácil recambio, que frotan con la que hemos dicho existía en el borde del hogar y con otra análoga que tiene el tragante.

Para establecer la corriente de agua entre las dos paredes, el tambor exterior lleva en el medio de su longitud una pieza anular hueca *N*, cuyo fondo comunica con el hueco que existe entre las dos paredes por medio de una serie de agujeros. Esta ranura sirve de alojamiento á un collar fijo *Q*, que tiene dos aberturas, una inferior y otra superior, á las que están adaptados dos tubos. Por el inferior entra el agua con una cierta presión y por los agujeros del fondo de la ranura pasa entre las dos paredes de la cámara. La evacuación se verifica de una manera análoga, saliendo por el tubo de arriba para verterse al exterior.

Este enfriamiento de las paredes del horno es una de las principales modificaciones del sistema de Bouvard sobre el sistema de Danks. En este último el enfriamiento de las paredes se efectúa por simple aspersion de agua al exterior, lo cual no puede evitar que el horno sufra deformaciones debidas á cambios bruscos de temperatura, deformaciones que entorpecen el mecanismo que lo pone en movimiento. Por el

contrario, en el horno de Bouvard el enérgico enfriamiento de las paredes las hace completamente indeformables y el mecanismo funciona con perfecta regularidad. Este enfriamiento sirve además para la conservación del revestimiento interior, cuya primera capa no necesita nunca ser reemplazada.

El revestimiento del horno se compone de dos capas: la primera se construye con ladrillos de mineral en forma de cuñas, que se cimentan con un mortero compuesto de mineral en polvo y un poco de cal. Esta capa, como ya se ha dicho, no necesita ser renovada. La segunda, que es preciso rehacer cada seis ú ocho cargas, se forma con trozos gruesos de mena pura, batiduras, retales de palastro fino, escorias, etc. Forzando el fuego, los trozos de mena se cimentan con las escorias mezcladas con el óxido de las batiduras y el que proviene de la oxidación de los retales, y resulta una superficie áspera muy á propósito para el batido de la fundición. Con este mismo objeto el revestimiento se dispone de manera que la sección interior del horno presente la forma de un trapecio. En la parte media de la cámara existe un tabique parcial *O* hueco, lleno de agua y protegido por una capa de óxido de hierro. Este tabique forma una especie de cuchillo que divide la materia en dos partes á cada revolución, de modo que en definitiva en vez de una sola bola, como en el horno de Danks, se obtienen dos á la vez; y del mismo modo, aumentando el número de tabiques podría dividirse la carga en mayor número de zamarras. Esta es otra de las ventajas que presenta el horno de Bouvard sobre el de Danks, pues ya hemos indicado (200) que uno de los inconvenientes de este sistema era el gran peso de las zamarras que en él se obtenían. Sin embargo, las bolas obtenidas en los hornos del Creusot no son menores que las que producen los hornos de Danks; pero esta disposición ha permitido duplicar la carga, lo cual produce siempre una economía de combustible.

La rotación se efectúa por el engranaje de la rueda den-

tada *P*, hecha firme al contorno exterior del tambor, y el piñon *R*, que es puesto en movimiento por una máquina de vapor. El tambor descansa sobre cuatro roletes *S*, *S*, *S*, *S*.

El tragante ó caja de humo *T*, que sirve para establecer la comunicaci3n entre el horno y la chimenea, est3 articulado alrededor de un eje horizontal, sobre el cual hay un piñ3n *b* engranando con una cremallera *c*, la cual se pone en movimiento por medio de un pist3n hidr3ulico. Dispuesto de este modo se le puede hacer bascular, de manera que descubra la abertura del horno cuando se vayan 3 extraer las bolas.

Las paredes son de circulaci3n de agua, y el interior est3 revestido de ladrillos.

Un tornillo de presi3n *d* permite desplazar lateralmente el tragante con objeto de arreglar su contacto con la c3mara rotatoria.

Las dos portezuelas *e* y *f* cierran una abertura, por la cual se carga el horno. La *e* tiene un pequeñ3 agujero para examinar el interior y la *f* otro mayor, por el cual se vierten las escorias y se manipula en el interior del horno.

Este se carga con el hierro colado en estado l3quido. Los lingotes se funden de antemano en un reverbero Siemens, y la fundici3n que resulta se conduce al horno en un caldero, y se vierte por una canal que se introduce atravesando la caja de humo.

El principio de la operaci3n se hace sin dar viento bajo la parrilla. Se hace girar el horno con una velocidad de diez 3 quince vueltas por minuto, y al cabo de cinco 3 diez minutos empieza el hervor. Entonces se da viento, y bi3n pronto el bañ3 llega al nivel de la abertura *f*, y empiezan 3 verterse las escorias. A veces hasta es preciso disminuir la velocidad para evitar que salgan demasiado. A los cuatro 3 seis minutos el hierro ha empezado 3 tomar cuerpo.

Se disminuye la velocidad del horno, y con un espet3n que se introduce por la abertura *f*, se van reuniendo los grupos de hierro y echando fuera las escorias acumuladas en el tragante.

A los tres minutos, un momento antes de que toda la masa se haya coagulado, se detiene el horno tres ó cuatro minutos, durante los cuales se fuerza el fuego. Este período se prolonga tanto más tiempo cuanto más decarburado deba ser el hierro que se desea obtener.

Cuando la temperatura ha llegado al color blanco, dos ó tres vueltas son suficientes para formar las dos bolas, pero se continúa durante uno ó dos minutos para apretarlas y redondearlas bién.

Las bolas se sacan del horno con una gran tenaza suspendida á una grúa hidráulica y se llevan al martillo cinglador.

En cuanto se ha sacado la segunda bola y antes de introducir una nueva carga, se arrojan dentro del horno algunas paladas de batiduras, principalmente sobre el talud del puente.

La duración total de una operación, comprendido el cinglado de las dos bolas, es de 30 minutos próximamente. En las reparaciones del revestimiento interior se emplea el mismo tiempo que en el trabajo de las cargas. Después de seis operaciones, habiendo durado tres horas, se rehace la soleira, lo cual, comprendiendo el enfriamiento, exige igualmente tres horas. Se llega de este modo á una media de veinticuatro cargas en veinticuatro horas.

Cuando ha llegado el momento de hacer la reparación se detiene el horno de modo que el cuchillo quede vertical. Se cargan 1000 kilogramos de mena gruesa, y por encima paquetes de retales de palastros delgados, los cuales se queman forzando el fuego é inyectando un gran exceso de aire. En hora y media se oxidan 200 kilogramos, cuya escoria cimenta los bloks de mineral. De este modo se rehacen alternativamente los lados mayores del horno; los otros dos no necesitan reparación, porque siendo más delgados están mejor enfriados por las paredes. El cuchillo tampoco necesita ser reparado, porque se recubre por sí mismo de escorias cada vez que se sumerge en el baño.

Los hornos rotatorios del Creusot, se emplean ordinariamente en la producción de hierros superiores destinados á la fabricación del acero en los hornos Martín Siemens, y para esto usan fundiciones grises ó mezcladas, suficientemente puras. La merma con esta clase de fundiciones es de un 3 por 100 próximamente.

Se consume además para entretener el revestimiento, unos 200 kilogramos de mineral rico por cada tonelada, 100 kilogramos de batiduras y 40 kilogramos de retales de palastros finos.

El consumo de carbón es de 300 á 350 kilogramos en el horno de pudlar y 200 próximamente en el reverbero Siemens en que se funden los lingotes. De suerte, que en total se consumen de 500 á 550 kilogramos de hulla por cada tonelada de hierro obtenido.

202. En resumen, los diferentes sistemas de pudlaje mecánico, presentan indudablemente ventajas sobre el pudlaje ordinario, pero no dejan de tener también sus inconvenientes.

Desde luego con ellos se consigue aliviar al obrero en su penoso trabajo, parcialmente en los hornos del sistema de Lemut y en los de solera giratoria, y casi completamente en los rotatorios, en los cuales el pudlador no tiene que hacer más que vigilar la operación.

Pudiendo tratarse de una vez cargas mayores, se obtiene una economía de combustible.

Los hierros obtenidos resultan en general de mejor calidad en razón á la mayor energía del batido, y en los rotatorios especialmente al mayor grado de basicidad de las escorias, debido á la naturaleza del revestimiento y á su más íntimo contacto con el baño metálico y de escorias. Así es, que en los hornos rotatorios del Creusot ha podido obtenerse hierro no conteniendo más que 0,082 por 100 de fósforo con una fundición que contenía 0,815 por 100, la cual, en el pudlaje ordinario, daba por producto hierro que contenía 0,254 por 100. Y con las fundiciones casi puras, á las

cuales el pudlaje ordinario no les quita casi ningún fósforo, han podido obtenerse en los hornos rotatorios productos casi completamente defosforados. Por ejemplo, con fundiciones conteniendo 0,040 por 100 de fósforo, se han producido hierros no conteniendo más que 0,004 por 100.

El principal inconveniente de los diferentes sistemas de pudlaje mecánico es el coste de su instalación y entretenimiento y el no poder utilizar la mayor parte del material existente en las fábricas para el pudlaje ordinario; exceptuando, sin embargo, el procedimiento Lemut y algunos otros que se limitan á batir mecánicamente la fundición en los hornos ordinarios.

Los hornos rotatorios presentan además el inconveniente de las enormes zamarras que en ellos se obtienen, las cuales son difíciles de manejar, y sobre todo de cinglar con los aparatos ordinarios, los cuales es indispensable reemplazar con otros más poderosos, y aun con éstos no es fácil expulsar completamente todas las escorias. Este inconveniente podría corregirse por el procedimiento empleado en el horno de Bouvard para dividir la zamarra en dos partes. En la ferretería de Erymus (Cleveland), la bola obtenida en el horno de Danks se divide en cuatro partes con un martillo pilón, y cada una de ellas se cingla después separadamente.

Art. 3.º—Operaciones mecánicas para el refino de los hierros.

203. Cinglado.—Ya hemos hablado diferentes veces del cinglado, operación mecánica que debe seguir inmediatamente á aquellas por medio de las cuales se ha obtenido una bola ó zamarra más ó menos impregnada de escorias. El objeto del cinglado es expulsar estas escorias, que deben encontrarse en estado fluido, y soldar al mismo tiempo entre sí las diferentes partículas de hierro, lo cual puede conseguirse golpeando las zamarras por medio de martillos ó bien comprimiéndolas con prensas adecuadas al objeto.

El martillo cinglador primitivamente usado ha sido el

martinete que hemos descrito en las forjas catalanas, y con el cual no pueden forjarse zamarras de grandes dimensiones. Al martinete siguieron los martillos frontales, en los que la cabeza es levantada verticalmente por medio de levas para dejarla caer sobre el yunque, y por último, en el día el aparato cinglador más generalizado es el martillo pilón puesto en movimiento por el vapor.

En el martillo pilón la masa que choca sobre el yunque es un blok de fundición suspendido por medio de un vástago al émbolo de un cilindro de vapor colocado en la parte superior y guiado en su movimiento por dos correderas verticales.

Dando entrada al vapor por la parte inferior del émbolo, éste levantará el martillo, que, al desalojar el vapor, caerá por su propio peso sobre la zamarra colocada sobre el yunque. Un operario, por medio de una palanca, hace la distribución del vapor y puede á voluntad, abriendo y cerrando convenientemente las válvulas de admisión y escape, hacer variar la altura de caída y la frecuencia de los golpes, lo cual facilita extraordinariamente la operación del cinglado. Al principio debe someterse la zamarra á choques moderados, porque la materia se encuentra poco agregada y se haría pedazos por un golpe violento. Pero, á medida que se va comprimiendo, se la somete á golpes cada vez más fuertes y rápidos para exprimir bién las escorias y aumentar todo lo posible la densidad de la masa.

El peso de los martillos pilones empleados en el cinglado varía de 1500 á 3500 kilogramos, y hasta de 10000 kilogramos los empleados en el cinglado de las bolas procedentes de los hornos rotatorios.

En algunas fábricas se sustituye el martillo pilón por prensas de variada disposición. La más sencilla y generalmente empleada es la conocida con el nombre de *squeezer* (cocodrilo). Este aparato (fig. 57, lám, VI) se compone de una pieza fija que hace las veces de yunque, y otra móvil alrededor de un eje, que puede adaptarse y separarse de la primera por efecto del movimiento alternativo que le comu-

nica una biela ó escéntrica en relación con el motor. Para sujetar la zamarra en el ángulo formado por las dos piezas é impedir que se escape al efectuar la compresión, la pieza superior está guarnecida en su parte inferior de una placa de fundición acanalada para morder en la zamarra.

Esta se coge con unas tenazas y se presenta sobre el yunque en el ángulo de la prensa, aproximándola al vértice á medida que van reduciéndose sus dimensiones.

Tanto en la prensa como en el martillo, se forjan las zamarras dándoles la forma de un prisma de base cuadrada.

En general debe darse la preferencia al martillo, pues con el choque se expulsan mejor las escorias, y la soldadura de las partículas de hierro es más perfecta.

204. Los tochos procedentes del cinglado de las zamarras deben ser estirados en forma de barras, operación que puede efectuarse bién por medio del mismo martillo, ó bién sirviéndose del laminador.

En las forjas catalanas las barras se forjan en el mismo martinete, y este ha sido el medio primitivamente empleado y que produce hierro más compacto; pero el trabajo es más lento que el que producen los laminadores y las formas ménos regulares; así es que en el día se usa casi exclusivamente este procedimiento para el estirado de hierro.

Un tren laminador se compone (fig. 58, lám. VII) de dos cilindros de fundición colocados horizontalmente uno sobre otro casi en contacto y con sus ejes paralelos. El inferior recibe de una máquina motriz un movimiento de rotación alrededor de su eje, y por medio de un engranaje obliga al superior á girar en sentido inverso. La superficie de estos cilindros está acanalada de manera que queden entre ambos varios huecos de formas semejantes generalmente y cuyas áreas van disminuyendo de un extremo al otro.

Los tochos procedentes del cinglado se introducen presentándolos por el extremo más delgado en el hueco de mayor sección, y por el movimiento de los cilindros son arrastrados y atraviesan el hueco comprimiéndose y tomando la

forma de éste. Cuando la barra formada ha pasado al otro lado de los laminadores, los obreros que se encuentran en esta parte la colocan sobre el cilindro superior, y el movimiento de éste la vuelve á pasar á su primitivo sitio. El operario la introduce entonces en el segundo hueco, y del mismo modo se continúa hasta hacerla pasar por el más pequeño, ó hasta que se haya enfriado y su maleabilidad no sea ya la suficiente para permitir su trabajo, en cuyo caso se lleva á un horno de recalentar, y se continúa la operación cuando ha adquirido la temperatura del rojo más ó menos vivo.

Para transformar los tochos en barras de hierro bruto, se hace uso generalmente de dos juegos de laminadores. Se pasan primero por un tren de desbaste, cuya superficie está picada para agarrar el metal y poder comprimirlo más fuertemente, y después por un tren de concluir, cuya superficie es lisa, y los huecos disminuyen de sección progresiva, pero más lentamente que en el tren de desbaste. El hierro *bruto* se obtiene, finalmente, en forma de barras planas de unos dos centímetros de grueso.

El cinglado y estirado del hierro no hacen más que expulsar incompletamente las escorias de que estaba empapada la zamarra, y el hierro bruto obtenido contiene todavía una gran proporción de ellas. Para acabar de refinarlo, es preciso todavía someterlo á la operación llamada *empaquetado*.

205. Empaquetado.—Para efectuar el empaquetado, se cortan las barras de hierro bruto en trozos cuya longitud no exceda de 50 á 60 centímetros. Se forma un paquete con estos trozos, que se amarra con alambre de hierro, y en un horno de recalentar se le hace adquirir la temperatura del blanco soldante.

El solo hecho del recalentado produce ya un cierto refinamiento, las escorias interpuestas en el hierro abandonan por licuación un silicato neutro, y queda un residuo básico mezclado de óxido magnético. Este residuo básico se elimina en parte arrastrando al mismo tiempo consigo algunos de los elementos extraños que aún quedan en el hierro, como el

silicio, manganeso, fósforo, carbono y azufre, á los cuales oxida por vía de cementación; pero, como esto se efectúa muy lentamente, no debe prolongarse la operación por la merma que se produce y por el gasto de combustible y mano de obra que son consiguientes. Por el contrario, se procura reducir la merma haciendo que la atmósfera del horno sea lo menos oxidante posible. Calentado el paquete, se vuelve á pasar por el laminador, lo cual produce la soldadura de sus diversas partes, y hace escurrir la mayor parte de las escorias.

El óxido de hierro que cubre las barras de que se compone el paquete, queda en una gran parte en el interior, lo cual perjudica á la calidad del hierro, é impide la perfecta soldadura de todas sus partes. Cuando se quiera obtener hierro de calidad superior es preciso formar los paquetes con barras cuya superficie no esté cubierta de óxido; con cuyo objeto se las sumerge en agua, después de haberlas calentado al rojo, lo cual hace desprender la costra de óxido que las recubre. Además, produce mejor resultado el soldar el paquete en el martillo antes de pasarlo por el laminador.

Para el recalentado puede hacerse uso de cualquier clase de hornos con tal que en ellos pueda obtenerse la temperatura del blanco soldante.

Cuando se trata de piezas de pequeñas dimensiones, puede efectuarse el empaquetado valiéndose de una simple fragua. Pero en general se hace uso de los hornos de reverbero. Para poder conseguir en éstos rápidamente la temperatura del blanco soldante, es preciso que el área del hogar no sea inferior á la mitad de la del laboratorio. La solera se hace generalmente de arena apisonada; pero convendría hacerla de sustancias ferrosas para poder utilizar las escorias que se derraman en ella durante la calda. Conviene que sean soplados en vez de tiro natural, para prevenir la entrada del aire por las puertas de carga, que enfriaría y oxidaría el hierro. Si no son soplados, deben colocarse las puertas de carga cerca del tragante de la chimenea, para que el aire que entra se dirija directamente á ésta sin pasar por la pieza que se calienta.

Art. 4.º—Clasificación de los hierros.

206. La inmensa variedad de lingotes empleados en el afino del hierro, variedad producida por las diferentes clases de menas y combustibles empleados y por la marcha del horno alto, trae por consecuencia el que varíe en alto grado la calidad de los hierros producidos en los diferentes establecimientos metalúrgicos. Por consiguiente, se hace muy difícil, si no imposible, el establecer una clasificación general, tanto más cuanto que hasta el día el único medio rápido de juzgar de la calidad de un hierro es el examen de su fractura, examen que sólo pueden practicar personas muy ejercitadas, y que, por lo tanto, no puede sujetarse á reglas precisas. Así es que cada fábrica tiene formada una clasificación de sus hierros, y como ejemplo citaremos la clasificación de Seraing, en Bélgica, descrita por Valerius (1), y la del Creusot.

En Seraing y en la mayor parte de las fábricas belgas se clasifican los hierros en cinco números:

El número 5, de grano fino, bueno en caliente y en frío, muy duro y tenaz.

El número 4, extra.

El número 4, ordinario.

El número 3, llamado hierro fuerte.

El número 2, llamado hierro ordinario.

Y el número 1, de grano fino, el cual se subdivide en otras tres calidades.

La clasificación del Creusot comprende siete números y está representada en los dos siguientes estados. Los otros dos que siguen á continuación manifiestan el resultado de los ensayos de tracción sobre cada clase de hierro.

(1) *Traité theorique et pratique de la fabrication du fer et de l'acier*, por B. Valerius, pág. 683.

Clasificación de los hierros del Creusot.

| Calidad. | Aplicaciones y propiedades principales. | Observaciones. |
|-------------|---|---|
| Núm. 1 2 | <p>Carriles.</p> <p>Barras redondas, cuadradas y pletinas para instrumentos de agricultura, tornillos de prensa, clavazón, etc.</p> <p>Hierros cilindrados de sección L, U, T y I para las construcciones civiles, puentes y algunas partes del casco de los buques.</p> <p>En general se emplea esta calidad para el material que no requiere ser trabajado en caliente.</p> | <p>Calidad conocida generalmente en el comercio bajo la denominación de <i>hierro ordinario</i>.</p> |
| 3 | <p>Esta calidad empieza á poder soportar el trabajo en caliente. Se emplea en general para los mismos usos que el núm. 2 cuando requieren mejor calidad y además para piezas de cerrajería algo delicadas, redoblones fuertes, herraduras, cadenas, quincallería ordinaria y trabajos comunes de fragua.</p> | <p>Conocida por el nombre de <i>hierro ordinario mejorado</i>. Esta calidad es comparable á la marca inglesa <i>Best Staffordshire</i>.</p> |
| 4 | <p>Soporta mejor el trabajo en caliente.</p> <p>Se usa para trabajos sencillos de mecánica, árboles de transmisión, herrajes de vagones, pernos, remaches, llantas y ejes de carruaje, etc.</p> | <p>Conocida generalmente como <i>hierro fuerte</i> y análoga á la calidad <i>Best Staffordshire</i>.</p> |
| 5 | <p>Se emplea para todos los trabajos que requieren una buena calidad, tanto en frío como en caliente, como son: cadenas, trabajos finos de carruaje, cerrajería artística, quincallería y clavazón fina, alambre y hierros de L para trabajos de mecánica.</p> | <p>Calidad denominada comúnmente, <i>buen hierro fuerte</i> y análoga á la llamada <i>Best Best Best Staffordshire</i>.</p> |
| 6 | <p>Soporta sin alteración un trabajo prolongado en caliente y toma muy bien el temple en paquete. Se usa comúnmente en la construcción de las máquinas, bielas, ejes, árboles motores, remaches para calderas, cadenas de marina, etc.</p> | <p>Conocida en el comercio bajo la denominación de <i>hierro superior</i> y puede asimilarse al hierro del Yorkshire obtenido con carbon vegetal.</p> |
| 7 | <p>Se emplea en la construcción de las locomotoras; para todas las piezas difíciles de las máquinas y para algunas piezas que tienen que soportar un gran trabajo, como vástagos de pistón, bielas motrices, ejes rectos y acodados, etc.</p> | <p>Calidad llamada <i>hierro extradulce</i>, comparable á los mejores hierros fabricados con carbon vegetal.</p> |

Clasificación de los palastros ó chapas de hierro del Creusot

| Calidad del hierro. | Aplicaciones y propiedades principales. | Observaciones. |
|---------------------|---|--|
| Núm. 1 | No se fabrica. | Porque es de inferior calidad. |
| 2 | Se usa comunmente en el comercio para todos aquellos trabajos en que las chapas tienen que soportar muy pocos esfuerzos, como por ejemplo: para depósitos, gasómetros, ruedas hidráulicas, visagras, tubos de chimenea, etc. | Se distingue con el nombre de <i>chapa ordinaria</i> . |
| 3 | En las fábricas se emplea en trabajos muy sencillos, para piezas expuestas únicamente á esfuerzos estáticos. En la Marina: para tubos de chimenea, mamparos, algibes, etc. En el comercio: para techos, utensilios de cocina y partes fijas de las calderas no expuestas al fuego. | Corresponde á la nomenclatura comercial de <i>chapa mejorada</i> . |
| 4 | La Artillería la emplea para gualderas y telerones. La Marina: para tornos, envueltas de calderas, etc., etc. Su empleo está especialmente indicado para piezas de gruas y puentes expuestas á esfuerzos dinámicos. | Conocida bajo la denominación de <i>chapa de hierro fuerte</i> . |
| 5 | Se emplea cuando deben plegarse los bordes y no tienen que exponerse al fuego; se usa para cuerpos de calderas de locomotoras y de la marina mercante, así como también para fondos de calderas, comunicación de hervidores, etc. | Se conoce con el nombre de <i>buena chapa de hierro fuerte</i> . |
| 6 | La Marina la emplea para frentes de caldera, fondos y ceniceros, etc. En la industria para hogares de caldera, comunicación de los hervidores, placas tubulares, conductos de humo, etc. | Denominada <i>chapa dulce</i> , de calidad análoga á la buena chapa de hierro obtenido con carbon vegetal. |
| 7 | Calidad absolutamente superior, tanto para trabajos en frío como en caliente. La Marina la emplea para las planchas de testera de las calderas, hogares, conductos de humo, etc. Los ferrocarriles para las partes expuestas directamente al fuego, para cúpulas de locomotoras, placas tubulares, etc. | Llamada <i>chapa extra dulce</i> , superior á la mejor marca inglesa del Yorkshire. |

RESISTENCIA

à la tracción de las chapas de palastro del Creusot.

| ESPESOR DE LAS CHAPAS. | NÚMERO 2. | | NÚMERO 3. | | NÚMERO 4. | | NÚMERO 5. | | NÚMERO 6. | | NÚMERO 7. | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|--------|---|--------|-----------------------------|--------|---|--------|------------------------------|--------|---|--------|------------------------------|--------|---|--------|
| | Alarga- miento p. 100 | | Resis- tencia por $\frac{m}{m^2}$ | | Alarga- miento p. 100 | | Resis- tencia por $\frac{m}{m^2}$ | | Alarga- miento p. 100. | | Resis- tencia por $\frac{m}{m^2}$ | | Alarga- miento p. 100. | | Resis- tencia por $\frac{m}{m^2}$ | |
| | Largo | Traves | Largo | Traves | Largo | Traves | Largo | Traves | Largo | Traves | Largo | Traves | Largo | Traves | Largo | Traves |
| De 1 $\frac{m}{m}$ à 2 $\frac{m}{m}$ | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| » 2 $\frac{m}{m}$ | » | » | » | » | 4,0 | 2,0 | 33,5 | 30,0 | 6,0 | 3,0 | 35,0 | 32,0 | 8,0 | 5,0 | 36,0 | 33,0 |
| » 3 à 4 $\frac{m}{m}$ | » | » | » | » | 4,5 | 2,5 | 32,0 | 29,0 | 7,5 | 4,0 | 34,0 | 31,0 | 9,0 | 6,0 | 35,0 | 32,0 |
| » 4 à 6 $\frac{m}{m}$ | » | » | » | » | 5,0 | 3,0 | 31,5 | 28,5 | 8,0 | 4,5 | 33,5 | 30,5 | 10,0 | 6,5 | 34,5 | 31,5 |
| » 6 à 8 $\frac{m}{m}$ | 3,0 | 2,5 | 31,0 | 28,0 | 5,5 | 3,5 | 31,0 | 28,0 | 9,0 | 5,0 | 33,0 | 30,0 | 11,0 | 7,0 | 34,0 | 31,0 |
| » 8 à 16 $\frac{m}{m}$ | 4,0 | 3,0 | 30,0 | 27,0 | 6,0 | 3,5 | 31,0 | 28,0 | 10,0 | 6,0 | 33,0 | 30,0 | 12,0 | 8,0 | 34,0 | 31,0 |
| » 16 y más | » | » | » | » | 6,0 | 3,5 | 30,0 | 27,0 | 10,0 | 6,0 | 32,0 | 29,0 | 12,0 | 8,0 | 33,0 | 30,0 |

Resistencia á la tracción de los hierros del Creusot.

| CALIDADES. | HIERRO EN BARRAS. | | | |
|-------------|---|-----------------------------|---|---|
| | RESISTENCIA EN KILÓGRAMOS POR m^2 | | Alargamiento medido sobre 200 m | Números abstractos, calidad en caliente. |
| | De la sección primitiva. | De la sección de rotura. | | |
| Núm. 1..... | 41,1 | 45,5 | 8 por 100 | 40 |
| Núm. 2..... | 39,8 | 55,0 | 12 por 100 | 50 |
| Núm. 3..... | 39,7 | 60,0 | 16 por 100 | 60 |
| Núm. 4..... | 38,8 | 65,0 | 19 por 100 | 70 |
| Núm. 5..... | 38,08 | 70,0 | 20 por 100 | 80 |
| Núm. 6..... | 38,75 | 77,5 | 22 por 100 | 90 |
| Núm. 7..... | 39,10 | 90,0 | 25 por 100 | 100 |

NOTAS.

1.^a Las barretas cortadas en las planchas tendrán 30 m de ancho y 200 m de longitud útil.

2.^a Las cifras anteriores no se aplican más que á barretas reconocidas sin defecto antes del ensayo.

CAPÍTULO V

FABRICACION DEL ACERO

207. Siendo el acero un producto intermedio entre la fundición y el hierro dulce, de los cuales se diferencia casi exclusivamente por la proporción de carbono que contiene, se comprende perfectamente que pueda obtenerse, decarburando la primera ó carburando el segundo. Así es en efecto; el acero puede fabricarse por cuatro métodos distintos. 1.º Obtención directa del mineral. 2.º Carburación del hierro dulce. 3.º Decarburación de la fundición. Y 4.º Uno intermedio entre los dos últimos llamado por reacción.

El producto obtenido en el primer método se conoce con el nombre de *acero natural* y se produce en las forjas catalanas; por el segundo método se obtiene el llamado *acero de cementación*; en el tercero están fundados todos los procedimientos de afino y los productos se llaman *acero de forja*, *acero pudlado* ó *acero de Bessemer*, según que provenga de las forjas de afino, de los hornos de pudlar ó del convertidor Bessemer; y finalmente, en el cuarto, están comprendidos los procedimientos en que se produce el acero principalmente por la reacción entre el hierro dulce y la fundición, y en él está fundado muy especialmente el sistema de Martín Siemens.

Artículo 1.º—Obtención directa del mineral.

208. Método catalán.—Ya se ha indicado (167) que en las forjas catalanas podía obtenerse á voluntad hierro ó acero, impidiendo la carburación para obtener el primero y favoreciéndola por el contrario cuando se desee producir el segundo.

Para que resulte acero, las condiciones más favorables son las siguientes.

Emplear las menas más manganesíferas. El óxido de manganeso, siendo una base más enérgica que el óxido de hierro, facilita la eliminación del silicio, azufre y fósforo. El silicato de manganeso, siendo más difícil de reducir que los silicatos de hierro, las escorias serán menos oxidantes y la decarburación más difícil. Las escorias serán también más fluidas y por consiguiente podrán expulsarse mejor en el cinglado.

Hacer uso de carbones muy densos y en mayor proporción que cuando se trabaja para hierro, á fin de favorecer la carburación.

Añadir menos grillada y grillada pobre en hierro para que las escorias sean menos decarburantes.

Disminuir la inclinación de la tobera para que el metal esté menos expuesto á la acción decarburante del viento.

Hacer salir más á menudo las escorias básicas.

Disminuir el viento al fin de la operación.

Hacer que las menas permanezcan más tiempo en la región del contraviento, pues de esta manera, el hierro reducido, encontrándose más tiempo en contacto con el carbón candente y en una atmósfera no oxidante, se carburará más fácilmente.

La buena realización de la mayor parte de estas circunstancias depende sobre todo de la habilidad del obrero.

Los productos obtenidos son poco homogéneos, resultando unas partes mucho más carburadas que otras y para

mejorar la calidad del acero se hace indispensable fundirle ó refinarle por el empaquetado.

El acero natural resulta bastante caro, y en el día tiende á desaparecer este procedimiento en presencia de los métodos modernos que lo producen en cantidades considerables y á precios mucho más bajos.

Art. 2.^o—Carburación del hierro dulce.

209. Cementación carburante.—La carburación del hierro dulce se efectúa sometiéndole á una elevada temperatura á la acción de cuerpos que puedan prestarle el carbono que necesita.

La operación se llama *cementación*, el producto obtenido *acero de cementación*, y *cemento* la materia que suministra el carbono.

La operación puede efectuarse carburando simplemente el hierro, ó bien carburando y fundiendo al mismo tiempo el producto.

El procedimiento ordinario de cementación es carburar el hierro en forma de barras delgadas, sobre las cuales, calentadas al rojo, se hace obrar un cemento, que generalmente se compone de carbón vegetal molido; pero al cual suele añadirse frecuentemente hollín, sal marina, cueros viejos, cenizas, carbonato de barita, etc., pudiendo decirse que cada fabricante tiene una receta especial.

La cementación se efectúa colocando las barras de hierro con el cemento en dos grandes cajas *a* y *a'* construídas con ladrillos refractarios (figs. 59, 60 y 61, lám. VII.) Estas cajas tienen ordinariamente 3^m,30 á 4^m,25 de longitud, 0^m,75 á 1^m de ancho y 0^m,90 á 1^m,35 de altura. Están colocadas en el interior de un horno de sección rectangular, separadas entre sí de 50 á 60 centímetros y distantes 0^m,25 á 0^m,40 del fondo y de las paredes del horno, para cuyo objeto en vez de reposar directamente sobre el fondo, están apoyadas sobre varios tabiques de ladrillos que se prolongan también

entre las cajas y las paredes, formando una serie de conductos por donde circula la llama, que de este modo rodea las cajas por toda su superficie y asegura la uniformidad de temperatura á pesar de la gran longitud de ellas. Con este mismo objeto hay también entre las dos cajas otra serie de tabiques que forman conductos ó chimeneas verticales. El hogar ocupa el eje del horno y tiene una anchura de 60 centímetros. Está cubierto con una bóveda cilíndrica en la cual hay practicadas varias aberturas; las *b* corresponden á los conductos centrales y las *c* á los que pasan por debajo de las cajas que, como hemos dicho, continúan por entre éstas y las paredes laterales del horno. Este está cubierto por una bóveda, en la que hay abiertas seis chimeneas, tres á cada lado, por donde los gases procedentes de la combustión pasan á una gran campana cónica *C* que cubre todo el horno y que se termina por una chimenea. En las dos extremidades del horno hay dos puertas por las que se puede penetrar en él para hacer la carga y descarga de las cajas; estas puertas están tabicadas durante la operación.

El hierro que va á cementarse se estira en barras de unos 75 milímetros de ancho, de una longitud un poco menor que la de las cajas, para que puedan dilatarse libremente, y de un grueso que no exceda de 2 centímetros para que la carburación pueda penetrar bien hasta el centro.

En el fondo de la caja se apisona carbón vegetal groseramente molido, que es el cemento generalmente empleado, hasta formar una capa de unos 5 centímetros de espesor. Esta capa de carbón se cubre con barras colocadas de plano, muy próximas unas á otras, pero sin que se toquen. Sobre las barras se extiende otra capa de carbón de unos 2 centímetros de espesor, después otra tonga de barras y así se continúa por capas alternadas de barras y de carbón hasta llegar á unos 20 centímetros del borde de las cajas. Entonces se coloca una última capa de carbón algo más gruesa que las demás y se acaba de llenar la caja con arena fina. Esta arena forma una especie de cubierta movable que se hunde

con el contenido de la caja é impide que pueda penetrar el aire en su interior y quemar el cemento. Con este objeto suele usarse el polvo procedente de las piedras de amolar las herramientas que, como está mezclado de partículas férricas, forma una especie de escoria á medio fundir impermeable á los gases.

Concluída la carga de las cajas, se tabican las puertas del horno y se enciende el fuego, manteniendo la temperatura al rojo vivo por espacio de siete á diez días, según la clase de hierro empleado y la naturaleza del acero que se desee obtener.

Para juzgar del grado de carburación, se colocan en las cajas unas barras de ensayo, de iguales dimensiones que las que se cementa, cuya extremidad sale al exterior pasando por las aberturas *m*. Sacando una de estas barras de cuando en cuando, rompiéndola y examinando la fractura, podrá conocerse el estado en que se encuentra la operación.

En la práctica, sin embargo, no suele hacerse más que una prueba al final de la operación, pues se sabe por la experiencia el tiempo que debe durar ésta y la cantidad de carbón que debe consumirse para obtener un producto determinado.

Cuando se ha llegado al grado de carburación deseado, se retira el fuego y se deja enfriar el horno, lo cual exige generalmente tres ó cuatro días.

Frió ya el horno, se abren las puertas y los operarios penetran en su interior para descargar las cajas. Sacan las barras y recogen el carbón que ha quedado en ellas, el cual se mezcla con igual cantidad de carbón nuevo para emplearlo en otra operación, pues la experiencia ha probado que esta mezcla cementa mejor que el carbón viejo empleado solo.

210. El principio en que está fundada la cementación carburante es, lo mismo que en la oxidante, la solubilidad del carbono en el hierro. La diferencia consiste en que en la cementación oxidante, las partes exteriores, decarburadas por el óxido que sirve de cemento, toman el carbono á las

interiores, el cual de este modo camina del interior al exterior; y en la cementación carburante, por el contrario, el carbono marcha del exterior al interior, pues la parte exterior de las barras se carbura en contacto con el cemento, y transmite su carbono al interior.

La absorción del carbono por el hierro se verifica tanto más fácilmente, cuanto más dividido se encuentre, y por lo tanto será favorable para la cementación, que el carbono que se emplee provenga de la descomposición de un cuerpo, del que forme parte, pues encontrándose entónces sus moléculas separadas, se compenetrarán más fácilmente con las del hierro. La experiencia parece efectivamente demostrar que la cementación se verifica muy especialmente por la descomposición de los cianuros alcalinos, y que por lo tanto se hace preciso que el carbón que sirve de cemento no esté desprovisto de álcali ni de azoe. El álcali, en presencia del carbón y del azoe, forma, á la temperatura del rojo, un cianuro volátil á dicha temperatura, al cual descompone el hierro apoderándose del carbono, y que vuelve á formarse por el álcali que ha quedado en libertad.

Las experiencias del Coronel Caron manifiestan, en efecto, que el carbón sin álcali y sin azoe, no puede servir para la cementación industrial. Un pedazo de hierro calentado al rojo en una corriente de azoe rodeado de carbón, al cual se había privado de álcali por un lavado de ácido seguido de una calcinación, no pudo ser cementado. El hierro, rodeado de carbón ordinario sin lavar y calentado al rojo en una corriente de hidrógeno bién privado de azoe, tampoco pudo ser cementado. Por el contrario, el mismo carbón que privado de álcali no pudo cementar en presencia del azoe, resultó un cemento muy activo después de haberlo empapado en una disolución alcalina, é igualmente el carbón ordinario cementó muy bién desde el momento que la corriente de hidrógeno se reemplazó por una corriente de azoe.

El carbon vegetal que ordinariamente se emplea como cemento satisface á estas condiciones, pues contiene general-

mente carbonato de potasa, y se encuentra en presencia del azoe del aire que queda encerrado en las cajas y del que contiene el mismo hierro.

La adición de hollín, cueros viejos, sal marina, cenizas, etc., no tiene más objeto que aumentar la proporción de cianuros.

Si el carbón que ya ha servido resulta menos activo, es porque ha perdido una gran parte de su álcali, que ha sido arrastrado por los gases, y por consiguiente no pueden formarse cianuros.

Sin embargo de esto, no puede decirse que la cementación sea imposible con el carbón solo. M. Marguerite ha conseguido cementar el hierro con el carbón de azúcar y con el diamante sin la presencia del azoe.

211. El acero de cementación resulta de muy buena calidad respecto á su pureza. Por el afino se hacen desaparecer la mayor parte de los elementos extraños contenidos en la fundición y en la recarburación no se introducen impurezas en el metal. El precio es mucho más elevado que el de las demás variedades de acero, pues á los gastos del afino de la fundición hay que agregar los de la recarburación, y en esta operación, aun cuando la temperatura no pasa del rojo cereza, como dura bastante tiempo y el calor es transmitido por conductividad, el consumo de combustible es bastante considerable. Según la naturaleza de éste, se consume por tonelada de acero obtenido de 800 á 1500 kilogramos de hulla en alimentar el horno, y de 600 á 700 de carbón vegetal para cemento.

Pero si como pureza puede casi decirse que el acero de cementación es inmejorable, no sucede lo mismo respecto á su homogeneidad. El carbón penetra difícilmente hasta el corazón de las barras y el metal está siempre mucho más carburado en la superficie y particularmente en las aristas y en los ángulos. Además, la superficie de las barras cementadas está ordinariamente cubierta de ampollas, que parecen ser debidas á la dilatación de gases desarrollados en el inte-

rior de la masa metálica; probablemente óxido de carbono procedente de la reacción del carbono sobre las escorias de que en más ó menos cantidad está siempre empapado el hierro.

212. El acero de cementación no es susceptible de ningún uso mientras no se le dé la homogeneidad que le falta. Esto puede conseguirse, bién por el empaquetado ó bién por la fusión. El producto obtenido en el primer caso se llama *acero refinado*, y el que produce el segundo *acero fundido*.

Estas operaciones permiten además clasificar los aceros según su diferente grado de carburación. Las barras procedentes de la cementación no se encuentran igualmente carburadas en toda su longitud, y además unas lo están más que otras. Pero partiéndolas en diferentes pedazos pueden formarse lotes de diferente carburación, lo cual se conoce por el aspecto de la fractura, lotes que se numeran según su mayor ó menor riqueza en carbono, y que sometidos al refino ó á la fusión darán aceros más ó menos duros, según el número que se haya empleado.

213. Para refinar el acero se forman paquetes con barras del mismo número, barras que tienen generalmente unos 40 centímetros de longitud. Estos paquetes se sujetan por un extremo con un aro de hierro que se acuña fuertemente. El otro extremo se calienta al blanco soldante en un horno, y durante la calda se rocía con arcilla en polvo fino para impedir la oxidación de la superficie de las barras. La parte calentada se suelda en el martillo y se estira en forma de barra. Entonces se quita el aro de hierro y se calienta y forja de la misma manera la otra extremidad del paquete.

La barra que resulta de este modo se comprende perfectamente que es más homogénea que una barra de acero bruto, y el acero que resulta se denomina *acero de primera pasada*. Si se desea obtener mayor homogeneidad, se divide la barra en dos partes iguales, que se sueldan juntas en toda su longitud y se estiran hasta obtener una barra de las dimensiones primitivas. Se tiene de este modo el *acero de segunda pasada*, y por una nueva operación el de *tercera pasada*.

Cuanto mayor sea el número de veces que se haya martillado el acero, tanto mayor será su homogeneidad; pero estas operaciones aumentan el gasto en combustible y mano de obra y la merma del metal por oxidación y no pueden prolongarse demasiado, porque esta oxidación produce la decarburación del metal, que tiende á transformarse en hierro dulce. Generalmente no suele pasarse del acero de tercera pasada.

214. El inconveniente de la falta de homogeneidad del acero desaparece casi completamente por la fusión del metal, obteniéndose lingotes que bajo este concepto son superiores al acero refinado por el empaquetado.

Desde hace muchos años la fusión del acero se verifica en crisoles de *arcilla refractaria*, calentados en hornos de viento; y aunque este sistema es muy poco económico y se reemplaza ventajosamente por otros procedimientos más modernos, se conserva todavía en muchos establecimientos metalúrgicos, pudiendo citarse entre ellos el del Sr. Krupp en Essen, donde se cuelan lingotes de un gran número de toneladas para la fabricación de cañones.

Los hornos de viento (fig. 62) se componen de un hogar de sección rectangular generalmente, cuyo borde superior está al nivel del piso del taller, y cuya profundidad varía de 80 centímetros á 1^m,20. El fondo lo constituye una parrilla formada de barrotos de hierro, bajo la cual se encuentra el cenicero. Todos los ceniceros correspondientes á una misma fila de hornos desembocan en una galería subterránea, desde la cual vigilan los fogoneros. Igualmente todos estos hornos comunican por medio de tragantes con una chimenea común. En comunicación con estos tragantes, hay unos conductos, que descienden hasta los ceniceros, por donde puede ser aspirado una cierta cantidad de aire fresco para enfriar un poco las paredes del horno. La boca de éste se cierra con una tapa de ladrillos refractarios asegurados con un marco de hierro. En cada horno se disponen generalmente cuatro crisoles que pueden contener desde 10 hasta 40 ó 50 kilogramos de acero. Para que puedan estar bien ro-

deados por el combustible, no deden estar separados entre sí y de las paredes menos de 5 ó 6 centímetros, pero no mucho más para no gastar carbón inútilmente. Con el mismo objeto, se colocan sobre discos de arcilla refractaria de 5 á 8 centímetros de altura.

Para evitar las pérdidas por oxidación, conviene fundir el acero lo más rápidamente posible y no cargar los crisoles hasta que estén suficientemente calientes. Se empieza por colocar éstos en el horno provistos de sus tapaderas; se les rodea de cok candente, se acaba de llenar el horno de combustible y se tapa. Al cabo de veinte á veinticinco minutos los crisoles se han calentado lo bastante para poder recibir la carga. Esta se compone de barras troceadas de un número determinado de acero ó de una mezcla de varios números, según la calidad que se quiere obtener. Se introduce en los crisoles por medio de un embudo, añadiendo además una corta cantidad de escorias fusibles para preservar al metal de la oxidación, se cubren con sus tapas, que se enlodan cuidadosamente, y se eleva la temperatura lo más rápidamente posible. La fusión dura de tres á cinco horas, según que los aceros sean duros ó dulces. Cuando el metal está convenientemente fundido, se retiran los crisoles del horno por medio de unas tenazas y se vierte su contenido en lingoteras de fundición, cuyo interior suele ahumarse quemando alquitrán para atenuar la acción corrosiva del acero fundido sobre las paredes de la lingotera. Los crisoles vuelven á colocarse en el horno y á introducir en ellos una nueva carga, que tiene que ser algo menor que la primera, y en muchas partes aún los aprovechan para una tercera fusión. En el establecimiento de Krupp, por el contrario, no se les hace servir más que una sola vez é inmediatamente que se ha vertido su contenido se arrojan por un sumidero para que no embarracen el taller.

La colada de lingotes de pequeñas dimensiones, como los empleados para herramientas, hojas de sable, cañones de fusil, etc., no presenta ninguna dificultad; pero cuando se

trata de lingotes para gruesas piezas de artillería, lingotes de 50 á 60 toneladas, por ejemplo, como se cuelan en el ya citado establecimiento de Krupp por este procedimiento, aun cuando el acero que se funde no es acero de cementación, la cuestión se complica extraordinariamente, pues no conteniendo cada crisol más que 30 ó 40 kilogramos, se necesita reunir el contenido de 1500 á 1800 en un corto espacio de tiempo y sin interrupciones. Estas dificultades se vencen, sin embargo, fácilmente por una esmerada instrucción de los operarios encargados de ejecutar la operación. Nosotros hemos presenciado una en casa de Krupp, y no pudimos por menos de sorprendernos del perfecto orden con que se llevó á cabo á pesar de estar lleno el taller de 300 ó 400 hombres en movimiento en diferentes direcciones. En la fábrica de Trubia donde han empezado á fundirse lingotes para cañones de acero desde fines del año 1878, á pesar de la completa falta de práctica, unos cuantos ejercicios preliminares fueron suficientes para que la operación se efectuase convenientemente á partir de la segunda colada. En la primera faltó el contenido de dos hornos á causa de no haber picado debidamente las parrillas, pero no obstante, el lingote pudo aprovecharse, aunque para un uso distinto al que estaba destinado. La cuestión está reducida á dirigir la marcha de los hornos de manera que todos estén listos en el momento oportuno, arreglar, según la posición que ocupan con respecto á la lingotera, el orden con que deben ser descargados é instruir á los operarios del momento en que deben ejecutar las diversas maniobras que tienen que hacer y del camino que tienen que recorrer para no estorbarse unos á otros.

En una fosa practicada en el centro del taller está colocada la lingotera y sobre ella un receptáculo que recibe el metal fundido, el cual se vierte, abriendo una válvula que tiene en el fondo, cuando las escorias han subido á la superficie. Este receptáculo se llena por medio de dos canales que parten de él y en las cuales se vierte el contenido de los crisoles.

Cuando el metal está á punto de colar, á una señal del

maestro del taller, los operarios empiezan á operar en el órden que les está asignado. Los colocados en los sótanos quitan todas las barras de las parrillas, excepto dos que sostienen los crisoles, y limpian la superficie de éstos de todas las escorias que hay adheridas, pues sin esta precaución muchos crisoles se quedarían pegados de tal manera que no sería posible levantarlos con las tenazas. Después, otros dos operarios cogen el crisol con las tenazas, lo sacan del horno y se dirigen con él á la canal de la lingotera, de manera que empiecen á verter su contenido, cuando los que están en frente vayan á acabar de verter el suyo. Concluído esto, arrojan el crisol por unos sumideros practicados en el piso del taller y se dirigen al horno para tomar otro cuando les llegue la vez. De esta manera, estando la operación bién ordenada, se consigue ejecutarla en un corto espacio de tiempo y sin que se produzcan interrupciones en el chorro del metal, lo cual podría dar lugar á soluciones de continuidad en el lingote.

215. La fusión en hornos de viento es muy cara, por la calidad del combustible, que debe ser cok ó carbón vegetal, y por la enorme cantidad de éste que se consume, cantidad que es excesivamente superior á la que por su combustión completa y aprovechando todo el calor, produciría la fusión del acero. En efecto, el consumo de cok, por cada kilogramo de acero, varía generalmente entre 2 á 2,5 y 3 kilogramos, los cuales contienen de 2 á 2,5 de carbono puro. Ahora bién, como un kilogramo de carbono produce 8080 calorías por su combustión completa, resultará que por cada kilogramo de acero fundido se habrá consumido el carbón necesario para producir de 16160 á 20290 calorías. Pero, según los ensayos calorimétricos de Gruner (1), el acero fundido posee á lo más 350; luego se habrá perdido de 97 á 98 por 100 del calor desarrollado.

Estas pérdidas son debidas: unas al calor que absorben las paredes del horno y que transmiten por conductividad,

(1) *Annales des mines*, t. IV. — 1873.

lo cual es casi independiente de la especie de horno; y otras á las malas condiciones en que se verifica la combustión. Como en estos hornos existe sobre la parrilla una columna de combustible que suele exceder de 1 metro, el ácido carbónico, formado en la parte inferior, se transforma casi completamente en óxido de carbono antes de llegar á la chimenea y por consiguiente cada kilogramo de carbón en vez de desarrollar 8080 calorías, producirá muy poco más de 2473.

Una parte de este calor perdido puede utilizarse como se utilizan los gases de los hornos altos y en general de todos los aparatos en que se desprenden gases de esta naturaleza, aplicándolos como combustible. Generalmente el óxido de carbono desprendido de los hornos de viento se aprovecha quemándolo para calentar calderas de vapor colocadas entre los hornos y la chimenea.

216. En vez de colocar los crisoles en hornos de viento, pueden disponerse sobre la solera de un horno de reverbero de viento forzado y en este caso la operación resulta más económica, pues además de ser menores las pérdidas de calor, se emplea como combustible la hulla en vez del cok.

Pero sobre todo, la manera más económica de fundir el acero en crisoles, es el empleo de hornos del sistema de Siemens, que describiremos más adelante, hornos en los cuales pueden colocarse hasta veinticuatro crisoles, que desarrollan una temperatura muy elevada y en los que no se consumen más de 1600 kilogramos de hulla por tonelada de acero obtenido y hulla que puede ser de calidad inferior.

217. Puede obtenerse el acero fundido más rápida y económicamente que por la cementación ordinaria, verificando simultáneamente la cementación y la fusión. Basta para esto hacer fundir en crisoles refractarios hierro dulce en forma de barras troceadas, de virutas ú otros desechos, mezclado con una cierta cantidad de materias carbonosas, en proporción tanto mayor, cuanto más duro se desee que sea el acero.

Conviene añadir también una cierta cantidad de óxido

de manganeso para favorecer la carburación, ó más bién para impedir la oxidación del carbono y la del mismo hierro, pues los silicatos de manganeso, no sirven de vehículo al oxígeno del aire como los de hierro, y además, conservándose más fluidos, es más fácil la separación de las escorias.

Este método de fabricación del acero empezó á usarse hacia fines del siglo pasado por Chalut y Clouet en Francia, y Mushet en Inglaterra. En el día y desde hace varios años, los Sres. Naylor y Vickerz de Sheffield, fabrican el acero por este procedimiento, fundiendo pequeños trozos de hierro con 1 á 3 por 100 de carbón vegetal en polvo.

Igualmente, en la fábrica de Trubia, el acero para cañones se obtiene fundiendo, en crisoles de grafito, pequeños trozos de hierro forjado en cuarta pasada, á los que se añade una cierta cantidad de un mineral de manganeso que se encuentra cerca de la localidad y carbón vegetal pulverizado. Por cada 100 kilogramos de hierro, entran en la carga de los crisoles 664 gramos de mineral de manganeso y 66,4 de carbón.

El mineral de manganeso tiene la composición siguiente:

| | |
|---------------------------|-------|
| Sílice..... | 1,30 |
| Peróxido de hierro..... | 5,30 |
| Oxido rojo de manganeso.. | 72,60 |
| Cal..... | 3,60 |
| Magnesia..... | 0,80 |
| Pérdidas..... | 16,40 |

El acero obtenido contiene por 100:

| | |
|----------------|-----------|
| Carbono..... | 0,396 |
| Silicio..... | 0,123 |
| Azufre..... | 0,025 |
| Fósforo..... | 0,072 |
| Manganeso..... | 0,386 (1) |

(1) Reseña del sistema de Artillería adoptado para la Marina, por el Coronel D. José Gonzalez Hontoria, 1880.

El acero obtenido por este procedimiento es de buena calidad, si son puros los hierros empleados; pero valiéndose de él, es más difícil obtener productos idénticos como se obtienen con las barras cementadas clasificadas convenientemente.

En la India, se fabrica por un procedimiento análogo, un acero de superior calidad conocido con el nombre de *acero Wootz*. Se obtiene en forma de pequeños lingotes de 1 á 2 kilogramos fundiendo, en crisoles de arcilla calentados en forjas groseras abiertas en el suelo, las zamarras, procedentes de la fabricación del hierro dulce, mezcladas con una corta cantidad de madera de casia.

Art. 3.º—Decarburación del hierro colado.

218. Cementación oxidante.—Ya se ha visto (181) como, por medio de un cemento oxidante, podía decarburarse la fundición hasta obtener un producto que hasta cierto punto podía sustituirse al hierro dulce. Por el mismo procedimiento, pero decarburando menos, se obtendría una fundición maleable acerosa, cuya composición podría hacerse homogénea, fundiéndola en crisoles ó en un horno de Siemens y se tendría un verdadero acero, el *Gluhstahl* de los alemanes.

Las fundiciones que deben emplearse han de ser muy puras y aun así, el acero obtenido es de calidad inferior, pues á excepción del azufre y arsénico, no pueden expulsarse por la oxidación ninguno de los elementos extraños que, por muy pura que sea, contiene siempre la fundición. Es preciso, además, que las fundiciones sean blancas, y si no lo son, deben blanquearse antes de someterlas á la cementación, pues el carbono en estado de grafito es difícilmente oxidable.

En Estiria la operación se ejecuta en hornos iguales á los que sirven para la cementación carburante (fig. 59, lám. VII.) Se hace uso de fundición blanca especular, que se cuele en forma de placas delgadas de unos 8 centímetros de ancho por

12 de longitud, ó de diversos objetos, como cuchillos, tijeras, etcétera, que se colocan en las cajas en capas alternadas con mineral espático calcinado en polvo fino, que sirve de cemento. Cada operación dura cerca de dos meses, durante cuyo tiempo se procura mantener la temperatura al rojo oscuro.

219. Acero de forja.—El tratamiento que se hace sufrir á la fundición en las forjas de afino puede modificarse de manera que se obtenga acero en vez de hierro dulce. Ya sabemos que el afino tiene por objeto no sólo desembarazar á la fundición del carbono que contiene, sino también de la mayor parte de las impurezas, particularmente del silicio, del fósforo y del azufre. Para producir acero, será preciso detener la decarburación cuando quede al metal la proporción del carbono conveniente, sin dejar por esto de expulsar lo más completamente posible los demás elementos extraños, depuración que debe ser aún más radical que cuando se trabaja para hierro, pues el acero, sobre todo para poder ser trabajado en caliente, necesita mayor pureza que el hierro.

En vista de esto, el trabajo y la disposición de la forja deberán satisfacer á ciertas condiciones con objeto de moderar la acción decarburante. La forja debe ser más profunda y la tobera menos inclinada para resguardar al metal de la acción oxidante del viento. Se retarda además la decarburación cubriendo el fondo y paredes del crisol con una brasa compuesta de carbón y cenizas, aumentando la proporción de escorias que protegen al metal y haciendo que estas escorias sean más bien ácidas que básicas, pues ya sabemos que á la acción de estas últimas es debida en su mayor parte la oxidación del carbono. Así, pues, no se añadirán escorias ricas y cuando sea preciso desembarazarse de parte de las escorias, se las dará salida por los chíos inferiores, á la inversa de lo que se hace cuando se trabaja para hierro dulce, con lo cual saldrán las escorias básicas, que son más densas que las ácidas.

Pero se sabe que el óxido de hierro de las escorias básicas, no sólo produce la decarburación, sino también la depu-

ración del hierro colado; por lo tanto, disminuyendo la acción oxidante de las escorias, se habrá conseguido moderar la decarburación, pero la operación será incompleta.

Para conseguir un producto suficientemente depurado se necesita emplear fundiciones muy puras; pero como por mucho que lo sean siempre contienen una cierta proporción de materias extrañas que es indispensable eliminar, es preciso que además sean manganesíferas, pues el manganeso obra con más energía que el hierro para eliminar las impurezas, y al propio tiempo tiene menos acción sobre el carbono. Las escorias que resultan por el empleo de fundiciones manganesíferas, serán menos oxidantes y más fluidas. Esta última condición permite expulsarlas con más facilidad en el cinglado, operación que en el acero debe efectuarse á menor temperatura que en el hierro.

La fundición que se va á afinar para acero, se funde en una forja y se cuela en placas de 2 á 3 centímetros de grueso, las cuales se van fundiendo sucesivamente en la forja de afino. Encendida la forja se empieza por fundir en ella cierta cantidad de escorias pobres en hierro, que irá cubriendo y protegiendo la fundición á medida que vaya cayendo al fondo del crisol. Se funde primero una placa colocándola verticalmente á lo largo del contraviento, y cuando por la acción de las escorias y del viento se ha decarburado hasta el punto de tomar el estado pastoso, se funde otra placa que devuelve al metal su fluidez. Cuando éste haya vuelto á espesarse, se funde otra tercera placa y así se continúa hasta reunir la cantidad que debe tratarse en la forja, cantidad que varía de 80 á 160 kilogramos. El metal debe conservarse constantemente protegido por una capa de escorias de 5 á 6 centímetros de espesor. Cuando se ha acumulado una gran cantidad de ellas, se desaloja por los chíos inferiores para dejar en el crisol las más pobres.

Quando el afino ha llegado al punto conveniente, se separa el carbón, se vierten las escorias, y por medio de esptones se levanta la zamarra, que tiene la forma de una torta,

y se lleva al martillo para cinglarla. Después de esta operación se divide en el mismo martillo en varios trozos, generalmente en forma de sectores, que presentarán la misma composición, aunque cada uno de ellos no será homogéneo, porque el centro de la torta está siempre más decarburado que los bordes. Estos trozos, durante la operación siguiente, se caldean en la misma forja y se estiran en forma de barras. Estas barras de acero bruto presentan una composición muy variable de un extremo al otro; para obtener acero homogéneo es preciso someterlas al empaquetado ó á la fusión.

El consumo de carbón vegetal es muy considerable; generalmente pasa de un 300 por 100 del acero producido.

Este procedimiento de obtención del acero está llamado á desaparecer en presencia de otros métodos modernos mucho más económicos, y por esta razón lo hemos descrito tan brevemente. Únicamente podrá conservarse algún tiempo en algunas regiones de los Alpes y en Suecia, donde el mineral es muy puro y la leña abundante y barata.)

220. Acero pudlado.—El afino en hornos de reverbero, estando fundado en los mismos principios que el afino en forjas, se comprende perfectamente que, lo mismo que en éstas, podrá obtenerse acero en vez de hierro dulce, y que deberán ser análogas las variaciones que con este fin habrá que introducir en el tratamiento.

Así, pues, las fundiciones deben ser puras, manganesíferas y muy carburadas. Deben ser puras, porque la mayor parte de los metaloides hacen que el hierro sea tanto más agrio cuanto más carburado esté, y por lo tanto el acero deberá contener menor proporción que el hierro dulce, sin lo cual no será suficientemente tenaz; deben ser manganesíferas, porque, como ya hemos repetido varias veces, el manganeso retarda la decarburación, pues en razón á su mayor avidez por el oxígeno, reduce constantemente al estado de protóxido los óxidos de hierro que se forman, y que son principalmente los que producen la oxidación del carbono, y porque además las escorias conservan mayor fluidez,

pudiendo ser expulsadas más fácilmente en el cinglado y empaquetado; y por último, deben ser muy carburadas, porque cuanto mayor sea la proporción de carbono, habrá más lugar de eliminar las impurezas antes de que el producto pueda decarburarse por completo.

Por iguales razones las escorias no deben estar cargadas de óxido de hierro; pero como, por otra parte, si son ácidas no puede eliminarse el fósforo, se hace preciso sustituir el óxido de hierro por otra base diferente. En algunas fábricas se añade con este objeto una mezcla de óxido de manganeso y sal marina, en la proporción de 1 á 2 por 100 del peso de la fundición; estas sustancias pulverizadas se introducen en cartuchos de papel, que se arrojan en el horno durante el pudlado. Ya sabemos el papel que hace el manganeso. En cuanto á la sal marina, tiene por objeto formar sales de sosa, que hacen las escorias más fluidas y favorecen la eliminación del silicio, azufre y fósforo. Como para producir acero debe procurarse sobre todo el retardar la decarburación, y como sabemos que el afino es tanto más lento cuanto más fluido es el baño, será preciso emplear en este caso el pudlaje caliente y servirse, por lo tanto, de los hornos enfriados por corriente de agua, que hemos descrito (192). La solera y cordón se construyen, como para el hierro, con retales y baiduras ó menas ricas; pero se les da menos espesor para que, enfriadas más enérgicamente, se ablanden menos por la acción del calor y obren menos enérgicamente sobre el carbono de la fundición. Generalmente se emplean los mismos hornos en la preparación de hierro superior ó de acero, trabajando para uno ú otro producto según el estado en que se encuentre el revestimiento interior.

Habiendo ya explicado el pudlaje caliente (196), poco tendremos que añadir para dar á conocer la manera de conducir el trabajo para acero.

El período de la fusión debe abreviarse lo más posible con objeto de disminuir la proporción de óxido de hierro debido á la acción oxidante del aire. A este efecto los lingotes de

fundición, calentados al rojo en el segundo recinto del horno, se apilan en el laboratorio de modo que la llama pueda envolverlos bien á todos, y concluidos de cargar se cierra bien la puerta y se activa el fuego para que la fusión se efectúe rápidamente y se obtenga además un baño metálico bien fluido. Se agréga la proporción conveniente de escorias, proporción que varía entre un 8 y un 19 por 100 del peso de la fundición, según la calidad de ésta, y se empieza á pudlar de la manera ordinaria.

Durante el pudlado, debe irse arreglando la temperatura de manera que el baño conserve la fluidez conveniente. Cuanto más fluido esté, la operación durará más tiempo y será más costosa; pero en cambio el afino será más completo.

Cuando ha terminado el período de escorificación empieza el del hervor, ocasionado por el desprendimiento de óxido de carbono; y como para acero se emplean fundiciones muy carburadas, el baño crece de tal manera que llega á exceder de cinco á seis veces su volúmen primitivo. Durante este período se continúa removiendo las materias y en vez de seguir de este modo hasta que el metal se fije por falta de carbono, como se hacía en el hierro (para lo cual era preciso ir aumentando la temperatura) se procura detener la decarburación cuando el metal empieza á presentarse en forma de glóbulos diseminados en el baño de escorias, glóbulos que van creciendo al soldarse unos con otros, para lo cual se cierra el registro de la chimenea y se carga el hogar de combustible con objeto de disminuir la acción oxidante del aire. Aunque más lentamente, las escorias continúan decarburando el metal y llega un momento en que la cantidad de carbono que conserva no le permite permanecer en estado líquido á la temperatura en que se ha dejado el horno y los grumos metálicos se reúnen formando una masa esponjosa.

El pudlador se apresura entonces á formar las bolas, que se cinglan inmediatamente para detener la acción decarburante de las escorias interpuestas.

Cuando el acero debe laminarse inmediatamente sin ser

empaquetado, se vuelven al horno los tochos despues de cinglados, se revuelven en el baño de escorias, con lo cual se cubren de un barniz que les preserva del contacto del aire, se les da un calentón durante diez á doce minutos y se llevan al laminador.

El acero pudlado debe someterse al empaquetado, y á la fusión cuando se quiere que sea muy homogéneo.

No es inferior en calidad al acero de forja y resulta mucho más económico. Para producir una tonelada de acero de forja es preciso consumir 3000 kilógramos de carbón vegetal y son precisos trece jornales, mientras que para obtener la misma cantidad de acero pudlado no hacen falta más que 1500 kilógramos de hulla y tres y medio jornales.

En el horno de pudlar para acero, pueden tratarse fundiciones menos puras que las que es preciso emplear en el afino en forjas y el operario domina mejor la operación.

221. Procedimiento de Bessemer.—Este método de afino ha ocasionado una verdadera revolución en la siderurgia, inaugurando, puede decirse, el gran desarrollo que ha tomado la aplicación del acero. Por los antiguos procedimientos no puede obtenerse un metal suficientemente homogéneo y limpio de escorias, si no se recurre á la fusión (lo cual aumenta enormemente su precio) ni pueden fabricarse piezas de grandes dimensiones suficientemente resistentes, pues el único medio de obtenerlas es el soldar juntas varias barras, y es difícil que la soldadura sea perfecta en el centro de los paquetes. Por el contrario, con el procedimiento de Bessemer, se obtienen rápida y económicamente grandes masas de metal afinado en estado líquido, con lo cual las escorias se separan fácilmente como en el horno alto y se obtiene una perfecta homogeneidad. A consecuencia de esto, el metal de Bessemer resulta, á igualdad de pureza, más tenaz que el que ha sido simplemente refinado por el empaquetado.

La primera patente sacada por el Sr. Bessemer, data del mes de Octubre de 1855, y su procedimiento fué desde

luego acogido con reserva por la mayor parte de los metalurgistas. Los primeros ensayos efectuados en Inglaterra no dieron buen resultado á causa de las fundiciones empleadas y el autor se vió obligado á trasladarse á Suecia, donde, habiendo hecho uso de fundiciones puras, empezó á tener éxito su método, que fué planteado desde luego en las fábricas de Edsken y Sandviken. Nuevos ensayos verificados oficialmente en Inglaterra en el arsenal de Woolwich acabaron de asegurar el procedimiento, y desde el año 1862 empezó ya á generalizarse en toda Europa y en América. En España, sin embargo, no se ha establecido todavía, á pesar de estar comprobado el buen resultado que da con nuestras excelentes menas de hierro, y es doloroso el considerar que la mayor parte del material de hierro que estamos obligados á adquirir en el extranjero, proviene del tratamiento de nuestros mismos minerales. La escasez de carbonos explica la inmensa exportación que se hace de ellos; pero no el que no se beneficien por el procedimiento de Bessemer, pues para el afino de la fundición por este método no se consume más carbón que el necesario para alimentar los generadores de vapor de las máquinas sopladoras. Afortunadamente la *Sociedad de altos hornos y fábricas de hierro y acero de Bilbao* está montando el material necesario para la fabricación del acero por el método de Bessemer, que probablemente empezará á funcionar el año próximo y es de esperar que otros fabricantes sigan su ejemplo.

222. El procedimiento de Bessemer, consiste en hacer pasar á través de una masa de hierro colado fundida varias corrientes de aire comprimido, lo cual es suficiente para llenar todas las condiciones que hemos dicho son indispensables para el afino. Este aire *oxida, calienta y remueve* energicamente la materia metálica, lo mismo que se verifica, con ménos intensidad, en los procedimientos de afino que llevamos explicados.

El viento, al atravesar la fundición, la remueve energicamente, manteniendo por lo tanto una perfecta homoge-

neidad en la masa, que permanece constantemente fluida, gracias á la elevada temperatura desarrollada por la combustión de sus elementos, particularmente la del silicio y del manganeso. Estos son los primeros que se oxidan, después sigue el carbono, y por último, el hierro. De manera, que se comprende perfectamente, según esto, la posibilidad de obtener un producto con un grado de carburación determinado, pues bastará detener la operación cuando se haya obtenido la composición que se desea. Este es el método que suele seguirse en Suecia, pero generalmente se prolonga la operación hasta hacer desaparecer casi completamente todo el carbono, con lo cual se obtiene una especie de hierro quemado, que se refina y carbura al grado conveniente por la adición de una determinada cantidad de fundición manganesífera.

223. El aparato en que se efectúa la operación, al cual Bessemer dió el nombre de *convertidor* (convertor), puede ser fijo ó móvil.

El primitivo aparato de que se sirvió el inventor era fijo y se componía de una especie de cuba cilíndrica de palastro revestida interiormente de ladrillos ó de un apisonado refractario. En la parte superior tenía dos aberturas; una, para cargar la fundición, que se cerraba con un tapón de arcilla, y otra para dar salida á los productos gaseosos. El viento era introducido por 18 ó 20 toberas practicadas en la parte inferior del aparato; toberas ligeramente inclinadas en el mismo sentido, con lo cual el baño fundido adquiría un rápido movimiento de rotación. Pero en este aparato no podía interrumpirse la operación para tomar un ensayo, por ejemplo, porque entonces la fundición se introduciría por las toberas. Así es, que Bessemer no tardó en sustituirlo por el aparato móvil que se usa en la actualidad.

El convertidor móvil (figs. 63 y 64, lám. VIII), tiene la forma de una retorta de ancha panza, de cuello muy corto y ancho para prevenir los atascamientos, y doblado ligeramente para facilitar la carga y poder dirigir los productos gaseosos á la campana de una chimenea de evacuación. Está

formado de gruesas planchas de palastro remachadas, y puede dividirse en dos ó más partes, que se reúnen por medio de pernos de chaveta. Interiamente está revestido de un apisonado refractario de 25 á 30 centímetros de espesor. El convertidor puede girar alrededor de un eje horizontal formado por dos fuertes muñones asegurados á la armadura exterior. Uno de los muñones lleva una rueda dentada, que engrana con una cremallera horizontal puesta en movimiento generalmente por un pistón hidráulico. El otro muñón es hueco y está puesto en comunicación con el portaviento. El viento viene por éste, atraviesa el muñón, desde aquí, por un tubo adosado á la armadura exterior, pasa á la caja de viento, desde donde se distribuye en el baño de fundición, pasando por un gran número de toberas dispuestas en el fondo del convertidor. Cada tobera está formada de un tronco de cono de arcilla refractaria atravesado en toda su longitud por una serie de agujeros de 1 centímetro próximamente de diámetro por donde pasa el aire. Las toberas tienen de 40 á 50 centímetros de longitud, que es igualmente el espesor del fondo, en el cual están embutidas, y que de este modo forman una sola masa refractaria agujereada por un gran número de pequeños conductos, que en un principio no pasaban de 50 á 80, pero que hoy día llegan hasta 150 y 200.

Las dimensiones de los convertidores varían con las cargas, que generalmente son de 5 á 7 toneladas; pero en muchas fábricas se emplean hasta de 10. Los convertidores para 5 ó 6 toneladas tienen una altura total de 4^m á 4^m,20, el diámetro máximo interior en la panza varía entre 2 y 2,50, y el del fondo de 1^m,20 á 1^m,50.

El aire es inyectado en el aparato por medio de una máquina sopladora. Su presión varía de 2 á 2,5 atmósferas, siendo necesaria 1,4 atmósfera solamente para impedir que la fundición penetre por las toberas, pues el aparato se llena generalmente hasta una altura de 0^m,50 sobre el fondo, lo cual equivale próximamente á 0,4 de atmósfera.

Un taller para fabricar acero de Bessemer está compuesto generalmente de un cierto número de convertidores apareados. Los dos de cada par no suelen trabajar á la vez: mientras en uno de ellos se afinan cierto número de cargas, el otro está en reparación, bién de todo el revestimiento ó bién del fondo. Entre los dos hay establecido un gran caldero de colada, revestido de ladrillos refractarios, puesto en movimiento por una grua hidráulica, que se compone (figs. 65 y 66, lám. VIII) de una sólida plataforma de fundición unida al vástago de un pistón que puede moverse verticalmente por medio del agua comprimida. Un mecanismo manejado por dos operarios colocados sobre la plataforma, permite hacerla girar alrededor de un eje y presentar el caldero sucesivamente sobre las diferentes lingoteras que están colocadas en una fosa circular.

La fundición puede emplearse directamente del horno alto, ó ser refundida en cubilotes. En todo caso hay un piso un poco más elevado que la boca del convertidor, cuando se acuesta para recibir la fundición. En este piso están establecidos los cubilotes en que se funde el *spiegel-eisen* ó ferro-manganeso que se añade al fin de la operación y los que sirven para fundir el hierro colado que se va á afinar, si se emplea este método de carga. Desde el crisol de los cubilotes, bién por medio de canales ó bién por el intermedio de un caldero de colada, se conduce la fundición á una canal móvil que la vierte en uno ú otro convertidor. Si el convertidor se carga con fundición que proceda directamente del horno alto, se conduce desde éste la carga en un gran caldero, que por medio de un ascensor hidráulico, se eleva hasta el mencionado piso para verter su contenido en el convertidor, por el intermedio de la canal movable.

Sobre este piso existe otro á la altura de los tragantes de los cubilotes para efectuar las cargas de éstos, las cuales se elevan igualmente con un ascensor hidráulico.

Como hemos dicho, el movimiento de rotación de los convertidores, se obtiene por medio de un pistón hidráulico

que forma cuerpo con la cremallera que engrana con el piñón de uno de los muñones. El muñón hueco, al girar, cierra y abre automáticamente el paso del viento, lo mismo que un grifo. Cuando el convertidor está acostado, se interrumpe la comunicación con la máquina sopladora y el viento entra en el convertidor cuando empieza á levantarse. En algunas fábricas no se hace esto automáticamente, sino que se efectúa por la misma persona que dirige la operación. Esta persona se encuentra colocada en una plataforma elevada á cierta distancia frente á los convertidores. En esta plataforma están instalados los aparatos para observar la operación, los de comunicación con la máquina sopladora, los manómetros para conocer la presión del viento, las válvulas de admisión de éste y las que ponen en movimiento los diferentes pistones hidráulicos. De este modo, el vigilante, sin moverse de un sitio, ejecuta en el momento oportuno las principales operaciones mecánicas del afino.

224. Una hora próximamente antes de empezar la operación, se empieza á calentar el convertidor. Para esto se introduce un poco de leña encendida, que se cubre de una gran cantidad de cok y se da un poco viento. El interior del aparato se calienta gradualmente y acaba por llegar al rojo blanco, temperatura á la cual la fundición se conserva perfectamente fluida. Entonces se vuelca el convertidor para evacuar todas las cenizas, y después se le coloca en posición horizontal para introducir la fundición. Esta puede tomarse directamente del horno alto ó bien de grandes cubilotes de 5 á 6 metros de altura, que puedan producir de 4 á 5 toneladas por horno. Por medio de canales, ó por el intermedio de un caldero de colada, se vierte la fundición en el convertidor, que, como se halla en posición horizontal, quedará alojada en la panza sin llegar al nivel de las toberas.

Se levanta en seguida el convertidor, el viento entra entonces por las toberas y atraviesa la fundición bajo forma de un gran número de delgados chorros. Todos los elementos combustibles se oxidan rápidamente, y en el mismo orden que

hemos visto en todos los demás métodos de afino. Es decir, que habrá un primer período de *escorificación*, durante el cual se oxidan principalmente el silicio, manganeso y un poco de hierro, y después un período de *decarburation*. El primer período es relativamente tranquilo y la temperatura se eleva extraordinariamente porque no se forma casi ningún producto gaseoso. El segundo período es tumultuoso, porque al aire que atraviesa la masa hay que añadir los productos gaseosos de la combustión del carbono y todo esto produce una viva ebullición.

En los primeros instantes de la operación no sale, en efecto, por la boca del convertidor ninguna llama; lo cual es indicio de que no se producen gases combustibles.

Sale únicamente una corriente gaseosa, compuesta casi exclusivamente de azoe, que es luminosa por la alta temperatura que ha adquirido al atravesar la fundición, y por la reverberación del interior del aparato, y al mismo tiempo se desprenden varias chispas compuestas de glóbulos metálicos y escoriáceos arrastrados por el viento.

Poco después empieza á aparecer una llama amarillenta que va aumentando en extensión y brillo hasta resultar casi completamente blanca. Esta llama se encuentra mezclada de estrías violáceas y rojas, debidas probablemente las primeras á la combustión del óxido de carbono, y las segundas á chorros de chispas sumamente divididas. El ruido que produce el viento al atravesar la masa, va aumentando, y de cuando en cuando se oyen también explosiones debidas probablemente á la formación de mezclas detonantes de oxígeno y óxido de carbono.

Lo mismo que sucede en el pudlaje durante este período de la decarburation, la masa crece hasta el punto de ser expulsadas algunas porciones de escorias y metal por la boca del convertidor.

Es de advertir que en el procedimiento de Bessemer, el aire, estando en íntimo contacto con todas las partes de la masa metálica, efectuará directamente la decarbu-

ración, y el carbono no se oxida especialmente por el intermedio del óxido de hierro, como sucede en los demás métodos de afino. El análisis de las escorias demuestra que éstas son muy silíceas, y por lo tanto poco oxidantes.

La llama va cayendo á medida que se consume el carbono y apareciendo mezclada de humos, que son blancos azulados en un principio, y se van espesando y tomando un tinte rojizo hacia el fin. Estos humos son producidos por la presencia del óxido de hierro é indican el fin de la decarburación.

La temperatura va constantemente aumentando, llegando á ser al fin de la operación de 1500 á 1600, según las experiencias calorimétricas de M. Gruner (1). A esta temperatura el hierro dulce se conserva perfectamente fluido.

En Suecia y en Austria, donde se tratan fundiciones puras, manganíferas y poco siliciosas, se detiene la operación cuando se ha obtenido el grado de afino que se desea, lo cual se conoce por ciertos signos de que luégo hablaremos. En el método inglés, que es el más generalmente adoptado, se prolonga la operación hasta que haya desaparecido casi todo el carbono. El producto final es entonces un hierro fundido y quemado. Para refinarlo, se acuesta el convertidor y se añade una cierta cantidad de fundición manganífera, en proporción que varía con el grado de carburación que se desee tenga el producto. Se hace uso de 5 á 10 por 100 de fundición especular, que se toma de uno de los cubilotes establecidos al efecto, ó bien de 1 á 3 por 100 de ferromanganeso, que puede introducirse en estado sólido. El óxido disuelto en el hierro es reducido principalmente por el manganeso de la fundición añadida, pero una parte del carbono que ésta contiene es también quemado por dicho óxido, y á consecuencia del desprendimiento de óxido de carbono, se produce una especie de hervor en toda la masa líquida. Se

(1) *Annales des mines*, 7^e serie, t. IV.—1873.

deja reposar la mezcla durante algunos minutos, en cuyo tiempo pueden tomarse y ensayar muestras del metal, y en seguida se procede á la colada.

En algunas fábricas tienen la costumbre de volver á levantar el convertidor después de la adición del *spiegel-eisen* durante algunos segundos, con objeto de que el producto sea más homogéneo. En otras, por el contrario, se vierte la fundición especular en el caldero de colada antes de recibir en él el producto afinado.

La duración total de la operación varía entre quince y veinticinco minutos.

225. Durante ella, el caldero de colada, de que hemos hablado (**223**), se ha mantenido boca abajo sobre un fuego de leña ó cok encendido en la fosa, con objeto de que se encuentre suficientemente caliente en el momento de recibir el metal; ó mejor aún, se calienta por conductos de gas procedente de los generadores y un chorro de viento que hace de soplete, como está en práctica en el sistema americano de Holley. Cuando ha llegado el momento oportuno, se invierte, se presenta bajo la boca del convertidor é inclinando éste se vierte en él todo su contenido. El caldero cuele de fondo, por medio de un agujero que se cierra con una canilla manejada con una palanca. Las escorias, siendo más ligeras que el metal, no pueden salir por el agujero de colada, y sobrenadan sobre el baño metálico, preservándole de la oxidación.

Aunque el metal se conserva fundido más de un cuarto de hora, la colada debé hacerse lo más rápidamente posible, haciendo girar la plataforma que sostiene el caldero y presentando éste sucesivamente sobre todas las lingoteras, cuyos ejes deben haberse colocado en una circunferencia de radio igual al que describe el agujero de colada de dicho caldero. Cuando éste se encuentra sobre una lingotera, se levanta la palanca que abre el agujero de colada y sale un chorro de metal que llena el molde hasta 15 ó 20 centímetros de su borde superior. Al irse enfriando el metal se des-

prende de su masa una cierta cantidad de gas que hace al lingote ampolloso. Para corregir hasta cierto punto este defecto, después que se ha llenado una lingotera y mientras se llena la siguiente, un operario coloca sobre ella una chapa de palastro, que asegura por medio de una barra de hierro, que pasa por las asas colocadas en su borde superior, y una cuña colocada entre la barra y la chapa.

En la fábrica de los Sres. Bessemer y Compañía no se verifica la colada inmediatamente que se ha vertido el metal en el caldero, sino que ántes se lleva éste debajo de una batidera mecánica construída por el Sr. W. D. Allen de Sheffield, tal como la había imaginado Bessemer, y que consiste en una barra de hierro de pulgada y media de grueso enchufada y sujeta con una chaveta á un manguito fijo en el taller y que puede recibir un movimiento de rotación por medio de un engranaje cónico; la extremidad inferior de la barra tiene una mortaja para atravesar por ella una chapa de palastro de 0^m,50 de largo, 0^m,10 de ancho y 0^m,01 de grueso. Después de pasarla por la mortaja se la dobla ligeramente en hélice. Esta chapa y parte de la barra están recubiertas de arcilla, que se seca perfectamente.

Vertido el acero en el caldero de colada se lleva éste bajo la batidera, á la que se hace girar con una velocidad de 100 vueltas por minuto. Se va subiendo y bajando el caldero para que toda la masa se remueva bién.

De este modo parece que se obtiene un metal mucho más homogéneo, de excelente calidad y menos ampolloso que por el método ordinario de colada.

226. El afino en el convertidor de Bessemer marcha tan de prisa, que en uno ó dos minutos, más ó menos, la cantidad de carbono varía en términos que el metal tiene proporciones muy diferentes. Por consiguiente, es preciso poder reconocer el estado en que se encuentra el afino en todos los instantes de la operación, sobre todo en el procedimiento sueco, en el cual debe suspenderse aquélla cuando se ha obtenido el grado de decarburación que se desea.

A este efecto se hace uso generalmente del análisis espectral de la llama que sale de la boca del convertidor. Ahora bien, según Gruner, en el espectro de esta llama se ven, en diferentes épocas de la operación, cuatro grupos de rayas alternativamente claras y oscuras en la región amarilla y verde, y un quinto grupo en el azul, además de la raya amarilla característica del sodio, que rara vez deja de aparecer en cualquier análisis espectral. Designemos por el núm. 1 el grupo que sigue inmediatamente á la raya del sodio, y por los números 2, 3, 4 y 5 los que le siguen.

Sin detenernos á considerar á qué cuerpos es debida la presencia de estas rayas, veamos en qué circunstancia aparecen cada uno de ellos y, por consiguiente, qué indicios dan de la marcha de la operación.

Dirigiendo el espectróscopo á la llama del convertidor, se ve en los primeros instantes un espectro continuo, pero apenas visible.

Cuando empieza el hervor, el espectro es ya más brillante y discontinuo, apareciendo entonces el grupo número 2. A este siguen después los números 3, 4 y 5, y por último el número 1. Hacia el fin de la operación, cuando la llama empieza á debilitarse, los cinco grupos van desvaneciéndose en un orden inverso, es decir, primero el número 5, luego el 4 y 3 y después el 2, mientras que el número 1 persiste, aunque debilitado, hasta el momento en que vuelve á aparecer el espectro pálido y discontinuo.

Cuando quiera obtenerse directamente (método sueco) acero muy dulce, ó más bien hierro fundido, no se detiene la operación hasta que haya desaparecido el número 2; mientras que para acero propiamente dicho, se suspende el afino desde la desaparición de los grupos 4, 3 ó 2, según la dureza que se desee.

Si, por el contrario, se procede por vía de *refino*, será preciso aguardar la completa desaparición del número 2, y aun esperar que se halla debilitado bastante el número 1. Cuando se ha llegado á este punto, se agrega el metal reduc-

tor, y en este momento vuelve á aparecer durante algunos instantes el espectro de rayas verdes.

Generalmente la observación directa de los diferentes fenómenos de llama y luz de los gases que se desprenden por la boca del convertidor, basta para juzgar de la marcha de la operación cuando se opera en las mismas circunstancias y empleando los mismos elementos.

227. Analizando durante diferentes períodos de la operación los productos sólidos y los gases que salen del convertidor, puede comprobarse que la fabricación del acero por el procedimiento de Bessemer, está fundada en los mismos principios que hemos expuesto en la teoría general del afino.

El siguiente cuadro representa los análisis practicados por el Dr. Kessler.

| ELEMENTOS. | Lingote sometido al afino. | Metal tomado á los cuatro minutos. | Metal tomado al empezar la ebullición. | Metal tomado á la mitad de la ebullición | Metal tomado antes de la adición del reductor. | Producto final. |
|------------------------|----------------------------|------------------------------------|--|--|--|-----------------|
| Grafito..... | 2,52 | 0 14 | 0,04 | 0,01 | » | » |
| Carbono combinado. . . | 1,06 | 3,65 | 3,53 | 2,47 | 0,29 | 0,45 |
| Silicio..... | 1,875 | 1,200 | 0,048 | 0,067 | 0,021 | 0,083 |
| Manganeso..... | 1,04 | 0,23 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,034 |
| Fósforo..... | 0,100 | 0,106 | 0,096 | 0,097 | 0,109 | 0,104 |
| Azufre..... | 0,372 | 0,069 | 0,064 | 0,077 | 0,113 | 0,080 |

Los dos siguientes, los practicados en la fundición imperial de Neuberg en Estiria en el año de 1866, sobre los productos metálicos y las escorias correspondientes.

1.º Fundición y productos afinados.

| ELEMENTOS. | Fundición gris de Neuberg | Metal tomado al fin del primer período. | Metal tomado poco antes del fin de la ebullición. | Metal tomado antes de la adición del reductivo. | Producto final (acero dulce). |
|-------------------------|---------------------------|---|---|---|-------------------------------|
| Grafito | 3,180 | » | » | » | » |
| Carbono combinado . . . | 0,750 | 2,465 | 0,949 | 0,087 | 0,234 |
| Silicio | 1,960 | 0,443 | 0,112 | 0,028 | 0,033 |
| Fósforo | 0,040 | 0,040 | 0,045 | 0,045 | 0,044 |
| Azufre | 0,018 | Vestigios | Vestigios | Vestigios | Vestigios |
| Manganeso | 3,460 | 1,645 | 0,429 | 0,113 | 0,139 |
| Cobre | 0,085 | 0,091 | 0,095 | 0,120 | 0,105 |
| Hierro (por diferencia) | 90,507 | 95,316 | 98,370 | 99,607 | 99,445 |
| | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

2.º Escorias correspondientes.

| ELEMENTOS. | Escorias del horno alto. | Escorias tomadas al fin del primer período. | Escorias tomadas antes de concluir la ebullición. | Escorias tomadas antes de la adición del reductivo. | Escorias tomadas en el momento de la colada. |
|--------------------------|--------------------------|---|---|---|--|
| Sílice | 40,95 | 46,78 | 51,75 | 46,75 | 47,25 |
| Alúmina | 8,70 | 4,65 | 2,98 | 2,80 | 3,45 |
| Protóxido de hierro. . . | 0,60 | 6,78 | 5,50 | 16,86 | 15,43 |
| Idem de manganeso. . . | 2,18 | 37,00 | 37,90 | 32,23 | 31,89 |
| Cal | 30,35 | 2,98 | 1,76 | 1,19 | 1,23 |
| Magnesia | 16,32 | 1,53 | 0,45 | 0,52 | 0,61 |
| Potasa | 0,18 | Vestigios | Vestigios | Vestigios | Vestigios |
| Sosa | 0,14 | | | | |
| Azufre | 0,34 | 0,04 | Vestigios | Vestigios | Vestigios |
| Fósforo | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| | 99,77 | 99,79 | 100,36 | 100,36 | 99,87 |

Examinando estos cuadros se ve que el silicio y manganeso son los primeros elementos que se oxidan y en mayor proporción. El hierro se oxida también desde luego; pero solamente después del período de la ebullición, cuando el carbono ha desaparecido casi por completo, es cuando empieza á quemarse en proporción considerable. El carbono desaparece rápidamente durante el período de la ebullición. Una parte del azufre se quema al principio de la operación y el resto continúa invariable hasta el final. El fósforo queda casi por completo en el producto final, y la proporción es mayor en éste á causa de la merma inevitable que ha tenido el producto en los demás elementos.

Para que el fósforo pudiera desaparecer, era preciso que las escorias contuviesen ménos de 30 por 100 de sílice, pues como ya hemos dicho varias veces, á una elevada temperatura este ácido descompone todos los fosfatos que pudieran formarse. Ahora bién, en el convertidor de Bessemer las escorias tienen que ser necesariamente ácidas á causa del revestimiento silíceo de que está compuesto, y el fósforo no ha podido por consiguiente disminuirse hasta que no se ha encontrado el medio de sustituir este revestimiento silíceo por un revestimiento básico.

228. La naturaleza de los productos obtenidos por el procedimiento de Bessemer, varía desde el hierro más dulce al acero más duro, pues el grado de carburación se gradúa á voluntad con la cantidad de hierro colado añadido al final de la operación. En Suecia, por ejemplo, se distinguen según la dureza del metal, medida después del temple, nueve números de metal de Bessemer. El número 1, que es el más carburado, contiene 2 por 100 de carbono, y es un metal que no puede soldarse y se forja apenas. El número 9, el ménos carburado, contiene 0,05 por 100 de carbono, se forja y suelda muy bién, y es el que se conoce con el nombre de *hierro dulce fundido ó metal homogéneo*.

La clasificación austriaca de Tunner, es la siguiente:

El número 1 tiene 1,50 por 100 de carbono, es acero ma-

leable, pero que todavía no puede soldarse. Corresponde al número 2 de la escala sueca.

El número 2 tiene 1,25 de carbono; es acero maleable, pero que se suelda con dificultad.

El número 3 tiene 1 por 100 de carbono; es acero muy maleable, que puede soldarse si el operario es hábil. Es el acero *duro*.

El número 4 tiene 0,75 por 100 de carbono; es acero muy maleable y fácil de soldar. Es el acero *ordinario*.

El número 5 tiene 0,50 por 100 de carbono; es muy maleable y fácil de soldar. Es el acero *dulce*.

El número 6 tiene 0,25 por 100 de carbono; es hierro granuloso que apenas se temple.

El número 7 tiene 0,05 por 100 de carbono; es hierro dulce homogéneo que no se temple.

Cuando se lleva más lejos el afino, se obtiene un metal con muy poca tenacidad, un hierro *quemado*.

Con fundiciones muy puras pueden obtenerse en el convertidor de Bessemer aceros que compitan en calidad con el acero de cementación fundido. Si las fundiciones no son puras, sobre todo si son fosforosas, no pueden obtenerse verdaderos aceros, pues como el fósforo no puede eliminarse, y este elemento, cuando el carbono pasa de un cierto límite, hace que el producto sea agrio é insoldable, es preciso disminuir la dosis de carbono y el producto no es susceptible de adquirir el temple.

El acero ó metal de Bessemer reemplaza hoy día con ventaja al hierro forjado y al acero, y su empleo se va propagando cada vez más. Las variedades más duras se emplean en la fabricación de herramientas cortantes, limas, etc.; las intermedias, es decir, el acero dulce, en cañones de fusil y bocas de fuego, llantas de ruedas, carriles, etc., y los números menos carburados, en la confección de planchas, hierros de ángulos, alambre y piezas de máquinas.

229. Defosforación.—El fósforo es un elemento muy común en la mayor parte de los minerales de hierro.

Generalmente se encuentran en éstos en estado de fosfatos de cal y de alúmina, que son irreductibles por el carbón ú óxido de carbono; pero que se descomponen por la acción de la sílice y entonces el ácido fosfórico es descompuesto por el óxido de carbono, disolviéndose el fósforo en la fundición en forma de fosfuro de hierro.

Conocidas, como son, las malas cualidades que el fósforo comunica al hierro y al acero, se comprende la tendencia de los metalurgistas á desembarazarse de un elemento que no ha sido posible eliminar en el horno alto.

Ya hemos visto que en la operación del pudlado podía conseguirse eliminar la mayor parte del fósforo contenido en la fundición sometida al afino; pero que en el procedimiento de Bessemer, por el contrario, no sólo no puede hacerse desaparecer el fósforo, sino que, á consecuencia de la merma sufrida en la operación, el hierro colado contiene mayor proporción de dicha sustancia. Por consiguiente, este procedimiento tenía que limitarse á tratar hierros colados que contuviesen ménos de 0,1 por 100 de fósforo, y para obtener buenos aceros ménos de 0,05 por 100. Pero estas fundiciones no pueden obtenerse más que con minerales puros, y como éstos abundan poco, si se exceptúa en nuestro país, en Suecia y en algunas otras regiones privilegiadas, se comprende que se hayan buscado los medios de poder obtener en el convertidor de Bessemer, así como se obtienen en el pudlaje, productos exentos de fósforo valiéndose de minerales fosforosos.

Muchas son las tentativas hechas con este objeto, y entre otros, podemos citar el procedimiento de Parry, el cual consiste en valerse de hierros defosforados en el pudlaje, que se carburan en un cubilote y la fundición que resulta, se trata en el convertidor de Bessemer de la manera ordinaria. Por este método, la única ventaja que se obtiene sobre el pudlaje, es el poder obtener un producto más homogéneo que el que resulta de la forja de los paquetes; pero la operación es más larga y mucho más costosa; así es que no se ha generalizado su empleo.

La cuestión se ha resuelto recientemente á consecuencia de los trabajos de los Sres. Sidney Thomas y Percy Gilchrist, que empezaron sus investigaciones partiendo de la idea de que era indispensable que el convertidor estuviese cubierto interiormente de un revestimiento básico.

Construyeron un pequeño convertidor revestido interiormente con cal aglomerada por medio de silicato de sosa. Para absorber el ácido fosfórico producido, y preservar también el revestimiento de la acción corrosiva de la sílice formada por la oxidación del silicio de la fundición, emplearon otras sustancias básicas variadas, pero compuestas muy especialmente de cal y óxido de hierro. Ensayaron además continuar la acción del viento después de haber obtenido la decarburación, y por medio de esta *resuflación* obtuvieron una defosforación muy notable.

En vista de estos resultados, los inventores continuaron sus ensayos en varias fábricas, particularmente en las de acero de Bolchow Vaughan en Eston (Cleveland). Trataron de emplear, como en los hornos de pudlar, un revestimiento de óxido de hierro y hacer adiciones del mismo óxido sin mezcla de cal; pero no tuvieron resultado; las reacciones eran demasiado vivas é impracticables por la gran proyección de materias al exterior, teniendo por consiguiente que volver á emplear un revestimiento terroso.

Entre las diferentes materias empleadas para formar el revestimiento, la que dió el mejor resultado fué la *dolomia* (mineral compuesto principalmente de carbonatos de cal y magnesia) con la que se forman ladrillos ó bién se hace un apisonado amasándola con alquitrán, petróleo ú otro aceite mineral cualquiera.

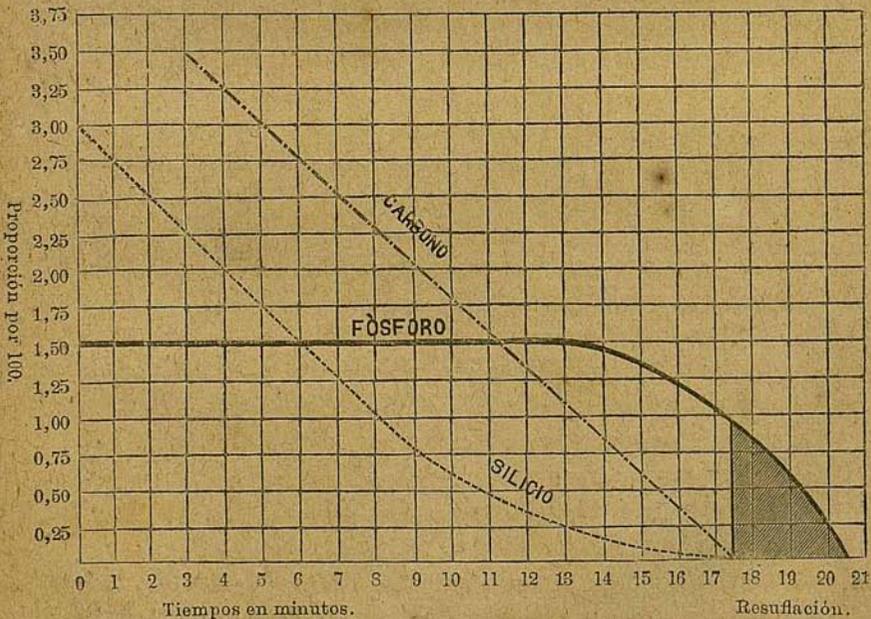
El Sr. Windsor Richards, Director de la fábrica de Eston, donde se hicieron estos primeros ensayos, ha descrito en una sesión del *Iron and Steel Institute* de Lóndres una operación practicada en dicho establecimiento, con fundición del Cleveland y cuyas diferentes fases siguió químicamente. Se ope-

raba sobre 6000 kilogramos en un convertidor de cabida de 8 toneladas. La fundición tenía la siguiente composición.

| | |
|--------------|-------------|
| Silicio..... | 3,0 por 100 |
| Carbono..... | 3,5 |
| Fósforo..... | 1,5 |

Inmediatamente después de la introducción del hierro colado se hizo una adición de 500 kilogramos de cal y seis minutos después otra adición de 400 kilogramos de cal y 300 de óxido de hierro, lo cual hace un total de 1200 kilogramos ó 20 por 100 de materias frías.

Tomando muestras durante los diferentes períodos de la operación y sometiénolas al análisis químico, hizo un interesante estudio de los cambios de composición ocasionados durante el curso de afino y pudo construir el siguiente cuadro, cuyas abscisas son las fracciones de tiempo que duró la operación y las ordenadas las cantidades de los diferentes elementos que encierra el metal.



Se ve que el fósforo no empieza á eliminarse hasta que el carbono se ha reducido á 1,5 por 100 y el silicio á 0,3. La parte rayada corresponde al período de resufiación que los ingleses llaman *afterblowing*, que es la insuflación practicada después de la decarburación total y caracterizada por la desaparición de las rayas del espectro. Durante este período se oxida el hierro en gran cantidad y el fósforo se elimina rápidamente, pues como se ve en la figura, en los tres minutos que ha durado, se han eliminado los $\frac{2}{3}$ de él mientras que el otro tercio habia exigido doble tiempo.

En resúmen, el procedimiento de Thomas y Gilchrist está reducido.

1.º Al empleo de un revestimiento dolomítico en sustitución del formado con sustancias silíceas en el procedimiento ordinario.

2.º Adición al principio de la operación de una mezcla de cal y óxido de hierro destinada á absorber la sílice y ácido fosfórico formados.

3.º Prolongación de la insuflación más allá del punto donde se detiene en el procedimiento ordinario, y

4.º Determinación del fin práctico de la operación por la toma de muestras y tanteos.

El método ha sufrido varias modificaciones de detalle para vencer diferentes dificultades que se han presentado al irlo poniendo en práctica.

Vamos á describirlo tal como lo hemos visto ejecutar en el Creusot.

230. *Defosforación en el Creusot.*—El Creusot ha empezado sus ensayos de defosforación por medio del revestimiento básico á fines de 1879, y marcha corrientemente desde Mayo de 1880.

El Creusot explota el privilegio de los Sres. Thomas y Gilchrist, pero se ha aprovechado de todas las modificaciones introducidas hasta el día.

231. *Fundiciones empleadas.*—Hay un alto horno destinado exclusivamente á producir hierro colado para de-

fosforar. Rinde próximamente 50 toneladas diarias, que son tratadas en el convertidor básico en ocho operaciones. Una de las mayores dificultades es la de obtener constantemente fundición de una composición determinada; la marcha del horno alto, que no es siempre muy regular, el grado de humedad de las menas, la calidad variable del cok, etc., son causa de que se obtengan hierros colados cuyo punto de fusión es más ó menos elevado y que contienen proporciones variables de materias extrañas.

Uno de los cuerpos más perjudiciales, es indudablemente el azufre, pues no puede ser eliminado más que al fin de la operación en la última parte del período de resuflación, momento durante el cual, el hierro se oxida en proporción muy considerable, por cuyo motivo es preferible desembarazarse de dicha sustancia en el horno alto, empleando un lecho de fusión conveniente. Puede conseguirse esto aumentando la proporción de castina; pero entonces se está expuesto á reducir mayor proporción de óxidos terrosos ó metálicos. El Ingeniero debe pesar éstos diversos inconvenientes y tratar de conciliarlos entre sí. La cuestión es que el hierro no debe contener más de 0,11 por 100 de azufre á fin de que quede el menos posible en el acero.

Mientras el horno alto dé productos de composición absolutamente constante, puede tenerse la seguridad de obtener resultados satisfactorios en el convertidor básico. En esto, sobre todo, estriba la principal dificultad.

Las fundiciones de que se sirve el Creusot, son siliciosas y fosforosas, á fin de que el calor final de la operación sea bastante elevado para dar aceros bién líquidos. Al principio de la operación, el silicio al quemarse, produce el calor suficiente; el fósforo hace el mismo papel al final; además, este último cuerpo da lugar á un nuevo desprendimiento de calor, al combinarse con las bases en estado de ácido fosfórico.

Las fundiciones se obtienen con un lecho de fusión compuesto en su mayor parte de minerales de Mazenay, que está

próximo al Creusot, y que dan un rendimiento de un 22 por 100.

La composición de estos hierros colados es próximamente la siguiente:)

| | | |
|--------------------|-------|---------|
| Carbono total..... | 3,20 | por 100 |
| Silicio | 0,715 | |
| Fósforo | 2,05 | |
| Azufre | 0,11 | |
| Manganeso | 1,00 | |

Estos guarismos son los medios; así es que las proporciones de silicio y manganeso son muchas veces más elevadas que las que acaban de indicarse.

232. *Convertidores y su revestimiento.*—Se emplean para la defosforación dos convertidores que anteriormente habían servido para las operaciones Bessemer ordinarias; estos aparatos están divididos en dos partes por un plano perpendicular al eje, y situado un poco por encima de los muñones. Se ha modificado ligeramente la parte inferior de la retorta, de manera que pueda quitarse más fácilmente el fondo y ensanchado suficientemente el cuello para facilitar el desprendimiento de los gases y la eliminación de las materias proyectadas.

Las retortas están revestidas interiormente de una composición básica muy rica en cal y magnesia. En el Creusot, como en todas partes, han experimentado grandes dificultades para constituir este revestimiento; han ensayado desde luego, como en Inglaterra, el hacer ladrillos con dolomias ligeramente arcillosas, pero ya se sabe que esta fabricación es muy delicada; se pierden muchos ladrillos durante las manipulaciones, y los que quedan deben cocerse con las mayores precauciones en hornos especiales. Así es que, encontrando demasiado grandes las dificultades de fabricación y el precio muy elevado, se han decidido por el empleo de un apisonado dolomítico.

La dolomia se calcina desde luego fuertemente y después se pulveriza y aglomera con ayuda de 12 por 100 de alquitrán mineral. Su composición debe ser tal que pueda endurecerse sin grietearse á las temperaturas más elevadas. Debe hacerse uso de alquitran mineral, pues el vegetal, que se ensayó primeramente, da productos volátiles á baja temperatura y disgrega el revestimiento. Para formar éste, se apisona fuertemente la materia de que acabamos de hablar contra las paredes del convertidor. El fondo del aparato se fabrica de la misma manera, pero se tiene cuidado de escoger la dolomia mejor calcinada y cocida más recientemente. Al principio se habían abierto los agujeros para el viento en el mismo fondo; pero se ha renunciado á esto y hoy día se emplean toberas refractarias ordinarias.

233. *Adiciones de cal.*—Como en la mayor parte de las fábricas, se ha recurrido al empleo de adiciones de cal en la proporción de un 20 por 100 del hierro colado tratado. La cal, que debe ser lo más pura posible, llega al taller de aceros fría y convenientemente preparada; se calienta en un horno de cuba calentado con gas y dispuesto de manera que la cal calcinada conserve todo su calor hasta el orificio de salida.

Por medio de canales colocadas frente á la puerta del horno se conduce la cal á la retorta con ayuda de una parte móvil que puede colocarse á voluntad sobre el cuello del aparato.

234. *Marcha de la operación.*—Pasemos á describir la marcha de la operación.

Se empieza desde luego por calentar la retorta á una temperatura bastante elevada introduciendo en ella cok candente, cuya combustión se activa soplando de cuando en cuando. Como no se hacen más que ocho operaciones cada veinticuatro horas la retorta se enfría entre cada dos de ellas, y por esta razón es preciso calentarlas cada vez.

Se vierte en seguida en el convertidor la cal á la temperatura del rojo en la proporción de un 15 á un 16 por 100 de

la fundición que se va á tratar; después se añade ésta (6 toneladas próximamente) y se da viento cómo en el procedimiento ordinario; al cabo de un minuto se baja el convertidor para proyectar 100 kilogramos de espato fluor, destinado á aumentar la fluidez de las escorias, después de lo cual vuelve á darse viento.

En el primer momento de la operación se quema el silicio produciendo sílice, que se combina con la cal y forma una escoria, que resulta cada vez más básica, disolviendo poco á poco la cal, disolución que no llega á ser completa sino hasta el fin de la operación. La combustión del silicio y la combinación de la sílice con la cal dan lugar á una cantidad de calor suficiente, no sólo para mantener el baño bién fluido, sino también para fundir el silicato de cal formado.

Después de la escorificación del silicio empieza el período de decarburación, que tiene lugar como en el procedimiento ordinario y que dura unos ocho minutos. Al fin de la combustión del carbono, el fósforo empieza á oxidarse y á pasar á las escorias. Después de la decarburación completa, esta escoria tiene la siguiente composición:

| | |
|------------------------|---------------|
| Sílice..... | 21,40 por 100 |
| Alúmina..... | 2,15 |
| Cal..... | 50,41 |
| Magnesia..... | 5,19 |
| Oxido de hierro..... | 6,94 |
| Idem de manganeso..... | 5,25 |
| Acido fosfórico..... | 8,67 |

Los óxidos de hierro y manganeso provienen de la fundición; el manganeso comienza, en efecto, á oxidarse al mismo tiempo que el silicio, y el hierro se oxida siempre un poco al fin de la combustión del carbono. La alúmina y magnesia proceden del revestimiento.

Después de la decarburación se baja nuevamente el convertidor y se añade 4 á 5 por 100 de cal; esta adición tiene

por objeto obtener una defosforación muy enérgica y hacer las escorias más fluidas. Viene entonces el periodo de resuflación, que dura de tres á cuatro minutos. El fósforo se oxida en cantidad considerable y la cal desaparece completamente.

La escoria presenta entonces la composición siguiente:

| | | |
|--------------------------|-------|---------|
| Sílice. | 11,85 | por 100 |
| Alúmina. | 1,52 | |
| Cal. | 58,48 | |
| Magnesia. | 3,75 | |
| Oxido de hierro. | 11,81 | |
| Oxido de manganeso. | 5,02 | |
| Acido fosfórico. | 12,57 | |

Se ve que la escoria se ha enriquecido en óxido de hierro y ácido fosfórico. En el Creusot se admite que el fósforo se elimina en estado de fosfato de cal.

Después de la resuflación se vierten las escorias en la fosa y se procede á tomar una muestra; es decir, que se cuela un pequeño lingote, que se forja inmediatamente en un martillo pilón. La fractura de este pequeño lingote indica si el metal está completamente defosforado. El fósforo produce en efecto en el acero granos brillantes planos y alargados muy característicos. Digamos de paso que la presencia del azufre se comprueba también muy facilmente, pues este cuerpo da lugar en el metal á pequeñas manchas negruzcas. El ensayo permite además comprobar si el metal ha resultado un poco agrio por la presencia del óxido de hierro.

Cuando se ha reconocido que el metal está completamente defosforado, se vuelve á levantar la retorta durante algunos segundos para quitar la pequeña cantidad de fósforo que haya podido volver al metal durante el tiempo que se ha empleado en hacer el ensayo y después de esto se procede á la colada.

En el caldero que debe recibir el acero se vierte de antemano el *spiegel-eisen* fundido y encima el contenido de la

retorta. Se manifiesta una viva ebullición gracias á la cual el *spiegel-eisen* se mezcla con la masa metálica y puede ejercer su acción recarburante; el manganeso reduce al mismo tiempo el óxido de hierro dando lugar á óxido de manganeso, que pasa á las escorias.

En cuanto á las escorias que subsisten aún, sobrenadan sobre la superficie del metal y después rebosan y se derraman en la fosa, quedando de este modo casi completamente eliminadas. Por consiguiente, el óxido de carbono que procede de la reacción del *spiegel-eisen* no puede reducir las y dar lugar á la refosforación como ha sucedido en otras fábricas.

Se procede en seguida á la colada, que se efectúa como en el caso ordinario.

La cantidad de *spiegel-eisen* que debe añadirse y la proporción de manganeso que debe contener, dependen evidentemente de la dureza del acero que se desee obtener.

Hay todavía un punto que debemos señalar particularmente. En el procedimiento ordinario de Bessemer se conocen fácilmente los progresos del afino por el simple aspecto de la llama y rara vez se hace uso del espectróscopo. Aquí, por el contrario, es casi indispensable recurrir á este instrumento, porque la llama no da indicios bién precisos á causa de la presencia de la cal, que modifica completamente su aspecto. El espectróscopo dirigido á la llama, da al principio de la operación un espectro muy pálido, que en seguida se acentúa y presenta varios grupos de rayas; la raya más brillante es la del sodio en la parte amarilla; un cierto número de ellas son debidas al hierro que se quema y siempre se volatiliza un poco durante la operación; pero los grupos principales provienen del manganeso y del carbono. Las del carbono están en parte situadas en el verde y por su desaparición se comprueba el fin del período decarburante.

235. *Naturaleza de los productos.*—Los productos obtenidos en el Creusot por el procedimiento básico son relativamente puros. La cantidad de fósforo que queda en el acero depende exclusivamente de la manera de condu-

cir la operación. Según los datos que nos ha proporcionado la fábrica, llega á obtenerse una proporción de fósforo de solamente 0,03 por 100 y por término medio esta proporción es de 0,05 á 0,06 por 100. Los aceros producidos por el método ordinario con fundiciones procedentes de minerales puros de Mokta el Hadid, contienen una proporción de fósforo casi nunca inferior á 0,08 por 100.

Al mismo tiempo que el fósforo, se eliminan los $\frac{2}{3}$ del azufre, quedando, en general, una milésima en el acero. En cuanto al silicio, es eliminado casi completamente, mientras que el acero obtenido en el convertidor ácido contiene á menudo proporciones muy notables. Ahora bién; se sabe que este cuerpo ejerce una influencia perjudicial sobre todo en caliente y el metal que contiene una proporción algo considerable, se forja difícilmente.

Las trazas de silicio que se encuentran en el acero defosforado proceden de la pequeña cantidad que contiene el *spiegel-eisen*. Es bueno, por otra parte, dejar un poco en el metal á fin de obtener un acero duro y poco ampuloso.

El procedimiento empleado en el Creusot permite, pues, obtener con fundiciones muy fosforosas aceros por lo menos tan puros como los buenos aceros ordinarios.

Hé aquí los resultados de análisis hechos en algunas coladas:

| SUSTANCIAS. | NÚMERO DE LAS COLADAS | | | |
|----------------|-----------------------|--------|--------|--------|
| | 1181 | 1182 | 1183 | 1184 |
| Carbono..... | 0,530 | 0,470 | 0,550 | 0,490 |
| Silicio..... | 0,120 | 0,070 | 0,130 | 0,100 |
| Azufre..... | 0,031 | 0,038 | 0,030 | 0,038 |
| Fósforo..... | 0,057 | 0,049 | 0,044 | 0,063 |
| Manganeso..... | 0,480 | 0,410 | 0,520 | 0,490 |
| Hierro..... | 98,782 | 98,963 | 98,726 | 98,819 |

236. *Consideraciones generales.*—Desde el punto de vista económico, el procedimiento es ciertamente satisfactorio, pues está en marcha corriente desde el año de 1880.

Lo que aumenta sobre todo los gastos, es el entretenimiento del revestimiento y las mermas. Así, un fondo no puede soportar más que dieziocho á veinte operaciones, mientras que en el procedimiento ordinario puede hacer próximamente treinta: el desgaste proviene principalmente de las toberas, que se corroen fuertemente durante la resuflación. Por otra parte, el revestimiento básico no puede llegar á soportar cien coladas, mientras que los revestimientos silíceos soportan varias centenas. Generalmente después del desgaste de dos ó tres fondos, se retoca el revestimiento y de este modo puede conservarse más tiempo.

El tener que interrumpir la operación para separar ó renovar por completo el revestimiento, es también un inconveniente grave que el Sr. Holley, Ingeniero de los Estados Unidos de América, ha obviado con una disposición que, en vista de los buenos resultados obtenidos en aquel país, empieza á introducirse en Europa. Además de que el taller está dispuesto de tal manera que todas las maniobras se ejecutan con rapidez, los convertidores pueden separarse y unirse con facilidad á unos collares que permanecen constantemente sobre el montaje del aparato. De este modo, cuando un convertidor necesita repararse, se separa de su collar y se sustituye inmediatamente por otro de repuesto.

La merma es bastante considerable, pues llega por término medio á un 18 por 100, mientras que en el Bessemer ordinario no es más que de un 10 á un 11 por 100.

Estas causas de aumento de gastos, están más que compensadas por la diferencia entre el precio de las fundiciones fosforosas y las empleadas en el Bessemer ordinario; la diferencia es de 40 á 50 francos por tonelada en favor de las primeras.

Se puede, pues, considerar la cuestión como resuelta en el Creusot bajo el punto de vista económico

Los productos de fabricación corriente, obtenidos en el convertidor básico, son sobre todo carriles. Varias compañías de caminos de hierro han recibido ya un gran número de ellos, que han satisfecho á las pruebas impuestas á los carriles ordinarios. El laminado se ha efectuado siempre convenientemente. La mayor parte de estos carriles están ya en experiencia en varias líneas férreas, pero las observaciones á que puede dar lugar su uso, no podrán ser conocidas sino dentro de un tiempo relativamente largo.

Las personas encargadas de su recibo reconocen desde luego que el acero defosforado es por lo menos tan puro como el acero ordinario, que no contiene mayor cantidad de fósforo y relativamente menos silicio. Se le reprocha únicamente la presencia de defectos procedentes de ampollas, lo cual es debido precisamente á la falta de silicio, como hemos indicado anteriormente. Tal vez se conseguiría hacer desaparecer este inconveniente empleando un *spiegel-eisen* rico en silicio.

Se han fabricado también planchas de palastro por este procedimiento; pero no tenemos datos sobre ello.

237. *Teoría de la defosforación.*—Lo que acabamos de exponer sobre el procedimiento de los Sres. Thomas y Gilchrist nos parece suficiente para comprender su esencia; pero, para acabar de fijar las ideas, vamos á hacer un resumen de la exposición hecha en la *Revue universelle des Mines* por el Ingeniero belga Mr. Trasenster.

En la referida publicación se detallan las operaciones hechas en diferentes fábricas y de su examen se puede deducir que los metalóides se eliminan en el orden siguiente: silicio, carbono, fósforo y azufre. Se puede, pues, dividir la operación en cuatro períodos principales correspondientes cada uno á la oxidación de uno de los cuatro cuerpos precedentes.

Cuando uno de estos cuerpos se quema, el que sigue inmediatamente empieza á oxidarse, mientras que los otros quedan intactos y hasta cierto punto puede decirse que se

concentran en la masa metálica. Consideremos por ejemplo el primer período, el del silicio; un poco de carbono se oxidará, pero el fósforo y el azufre no son atacados.

En el período del carbono, el fósforo empieza á quemarse mientras que el azufre queda intacto.

En fin, en el período del fósforo, es decir, durante la resuflación, el fósforo desaparece muy rápidamente y el azufre no hace más que empezar á pasar á las escorias. Es probable que si se continuase la resuflación se eliminaría una mayor proporción de azufre.

Los metales, es decir, el manganeso y el hierro, se escorifican al mismo tiempo que los metalóides. El manganeso se oxida, sobre todo, durante el período del silicio, el hierro durante el del fósforo; pero uno y otro se oxidan mucho más lentamente durante el período decarburante.

El silicio desaparece en dos ó tres minutos con una fundición cuya proporción sea de 1 por 100, en cinco ó seis minutos con una fundición de 1,2 y en nueve minutos para una fundición de 1,7. Este cuerpo puede eliminarse completamente á causa de la formación de escorias básicas, lo que no tiene lugar en el Bessemer ordinario; con este último aparato, en efecto, el acero retiene frecuentemente una gran proporción de silicio, sobre todo si la operación es demasiado caliente. El acero defosforado, por el contrario, puede no contener más de 0,08 de silicio, aun cuando provenga de fundiciones muy siliciosas.

Esta manera de explicar la oxidación de los diferentes elementos contenidos en la fundición, no ha sido admitida por todos. Varios Ingenieros, entre otros los Sres. Pourcel y Gautier, pretenden que el fósforo empieza á oxidarse desde el principio al mismo tiempo que el silicio, y que antes de la decarburación debe pasar una cantidad muy notable de él en las escorias. Si después del período decarburante se encuentra aún en el metal la mayor parte de él, dicen que es porque el óxido de carbono, desprendido durante el período del carbono, reduce el fosfato de hierro formado precedente-

mente. Esta opinión está basada en lo que pasa en el pudlaje, donde efectivamente pasa á las escorias la mayor parte del fósforo antes del período decarburante. Pero es preciso tener en cuenta que las circunstancias no son las mismas, pues en el pudlaje las escorias desde el primer momento son muy ricas en óxido de hierro á causa del revestimiento, y este óxido de hierro ejerce su acción oxidante sobre el fósforo; la temperatura es también muy diferente y ya se sabe la influencia que esto tiene en las reacciones químicas. Si el óxido de hierro puede en ciertas condiciones de temperatura transformar el fósforo de la fundición en ácido fosfórico y eliminarlo, por lo ménos en parte, bajo la forma de fosfato de hierro, puede admitirse que la alta temperatura del metal en la retorta de Bessemer, invierte la reacción que se opera en los otros procedimientos de afino.

La experiencia comprueba, por el contrario, lo que hemos dicho más arriba, pues si se examinan los resultados dados por las operaciones hechas en el convertidor básico en diferentes fábricas, se observará que durante el período del silicio, el fósforo, lejos de desaparecer, se reconcentra por el contrario en la masa, ó por lo ménos las cantidades eliminadas antes de la decarburación, son muy pequeñas.

238. *Estado en que se elimina el fósforo.*—Se ha tratado igualmente de saber en qué estado se encuentra el fósforo en las escorias. Los metalurgistas han entablado sobre este punto largas discusiones, y todavía no están de acuerdo. Algunos Ingenieros, particularmente Mr. Pourcel de Terrenoire, pretenden que el fósforo se elimina en forma de fosfato de hierro. Resultaría de esto que el fósforo no podía desaparecer sino durante la resuflación, porque durante el período decarburante no podría formarse el fosfato de hierro á causa del desprendimiento de óxido de carbono.

Otros, entre los cuales se encuentran los inventores del procedimiento y la mayor parte de los Ingenieros ingleses, admiten la formación de fosfato de cal. Así, el Sr. Stead, que ha hecho numerosas experiencias para resolver esta cuestión,

ha deducido que el ácido fosfórico libre no puede existir en presencia del hierro; admite que el fósforo es oxidado por el óxido de hierro, y que un exceso de este último cuerpo da lugar á la formación de fosfato de hierro. Solamente, según él, la cal ó el silicato de cal descompondrá en seguida este fosfato, y entonces se producirá óxido de hierro, silicato ferroso y fosfato de cal.

Durante la combustión del carbono, el óxido de hierro puesto en libertad es descompuesto por el óxido de carbono, mientras que durante la resuflación, no siendo reducido, pasa á las escorias.

239. *Resuflación, sus inconvenientes.*—La necesidad de la resuflación está demostrada, y según las experiencias hechas hasta el día, no ha podido reducirse su duración. Así, en Hoerde, en una operación en que la escoria no contenía más de 18 por 100 de sílice, no se ha podido eliminar más que la décima parte del fósforo antes de la decarburación.

La resuflación tiene por inconveniente la oxidación del hierro, la ausencia de pauta indicadora que permita determinar el fin de la operación, y en fin, las violentas reacciones que se manifiestan al introducir el *spiegel-eisen*.

Al principio de este período queda aún en el baño una cierta proporción de manganeso y de fósforo, y la totalidad de azufre que existía primitivamente en la fundición.

El manganeso no se escorifica más que hasta que concluye la decarburación, y en todo caso se quema con mucha menos rapidez que el fósforo. El manganeso puede de este modo impedir que el metal se oxide, como parecen demostrar los ensayos hechos en las fábricas de Sheffield. Sabemos en efecto, que gracias á la presencia del manganeso, ha podido resuflarse sin introducir oxígeno en el metal, y por lo tanto, ha podido colarse directamente sin adición de *spiegel-eisen*, cuando se ha querido obtener hierro fundido. El manganeso y también el fósforo, protegen, pues, al hierro contra la oxidación.

240. *Refosforación.*—Al principio de las experiencias

en Exton, la introducción del *spiegel-eisen* en el baño metálico daba lugar á reacciones violentas, y el producto final contenía más fósforo que antes de la adición. Además, el consumo de *spiegel-eisen* era considerable.

En Alemania se ha conseguido reducir la cantidad de *spiegel-eisen* introducida, pero no se ha podido evitar la refosforación, que es muy variable según las operaciones.

Mr. Pourcel atribuye la refosforación á la acción reductora del óxido de carbono procedente de la reacción del *spiegel-eisen*, cuyo gas hará pasar una parte del fosfato de la escoria al estado de fosfuro, que se disolverá en el baño.

M. Stead, pretende, por el contrario, que la refosforación no es debida á la acción del óxido de carbono, sino á que el manganeso del *spiegel-eisen* reduce el fosfato de cal de la escoria. De esto podría deducirse que la presencia del manganeso sería contraria á la defosforación, siendo así, que por el contrario está hoy día admitido que el manganeso remedia en parte los inconvenientes de la resuflación, y que con fundiciones manganesíferas es menos sensible la refosforación.

241. *Oxidación del azufre.*—Nos falta ver lo que sucede con el azufre. Hemos dicho más arriba que persistía hasta el fin de la operación; sin embargo, algunos metalurgistas piensan que sería posible desembarazarse de él al final añadiendo manganeso, y prolongando la resuflación. Se sabe en efecto, que en un gran número de operaciones metalúrgicas el manganeso facilita la eliminación del azufre, y por otra parte está probado que en el convertidor la adición del *spiegel-eisen* quita azufre al acero. Pero según las experiencias hechas, parece que la eliminación del azufre no está siempre en relación con la proporción de manganeso contenida en el metal.

Hay lugar á creer que se podría conseguir hacer desaparecer el azufre prolongando la resuflación, pero también se perdería una gran cantidad de hierro por cuanto el metal no estaría ya protegido por la oxidación del fósforo. Así es, que es preferible emplear fundiciones poco sulfurosas desembar-

razándose del azufre en el horno alto. En general se trata de obtener fundiciones que no contengan más de 0,25 por 100 de azufre.

242. *Calor cedido al baño.*—Ha habido muchas preocupaciones al principio de los ensayos de defosforación sobre la cantidad de calor cedido al baño por los diferentes cuerpos comburados. En el procedimiento ordinario de Bessemer, el silicio es el que da á la fundición el calor máximo. En el procedimiento básico se tratan fundiciones mucho menos siliciosas, y como la operación se prolonga un cierto tiempo después de la desaparición del silicio, el calor debe ser suministrado por otro cuerpo.

Esto es lo que los Ingenieros de Hoerde han comprendido desde luego. Para llenar este objeto, han recurrido al fósforo; su poder calorífico es de 7500 calorías cuando se transforma en ácido fosfórico. Además, el fósforo comunica una gran fluidez á la fundición, que queda más fácilmente líquida que la fundición pura. Hacia el fin de la operación, cuando la fluidez se ha reducido á su mínimo, al quemarse el fósforo da al acero bastante calor para mantenerlo en fusión, y este calor es sumamente elevado á juzgar por la fluidez del acero y de las escorias que salen del convertidor básico.

243. *Composición de los hierros colados susceptibles de ser tratados en el convertidor básico.*—Para terminar lo relativo á la defosforación, nos resta decir algunas palabras acerca de las consideraciones que han conducido á determinar aproximadamente la composición de los hierros colados susceptibles de ser tratados en el convertidor básico.

La presencia del silicio es perjudicial hasta cierto punto porque retarda la oxidación del fósforo y corroe el revestimiento. Así, en Hoerde, se ha ensayado el tratar fundiciones blancas que no contenían más de 0,5 de silicio. Pero estas fundiciones, debiendo ser introducidas muy calientes, era preciso hacerlas pasar primero al cubilote, lo que aumenta notablemente el gasto de combustible. Además, estas fundi-

ciones dan lingotes llenos de ampollas, que es preciso martillar para obtener rails ó barras sin defecto. Por el contrario, la presencia de un poco de silicio impide la formación del óxido de carbono en el momento de la colada á cuyo gas se debe muy principalmente la formación de ampollas. Estas razones han hecho que varias fábricas prefieran emplear fundiciones con 1 á 1,25 de silicio.

En cuanto al manganeso, hemos visto las ventajas que presenta; en una operación ordinaria es ya un elemento calorífico muy enérgico que puede sustituirse en parte al silicio porque arde desde el principio de la operación. En el convertidor básico da un óxido que combinándose con la sílice forma un silicato muy fluido que apresura la disolución de la cal. Durante la resuflación, protege al hierro contra la oxidación y al fin de la operación impide los violentos sobresaltos al introducir el *spiegel-eisen* y disminuye el consumo de esta última sustancia. Un exceso de manganeso sería sin embargo perjudicial. Las fundiciones muy fosforosas pueden contener más que las otras porque su tratamiento exige una resuflación más prolongada. Se admite en general que las fundiciones deben contener cuando menos 1 por 100 y cuando son siliciosas es preferible que tengan de 1,5 á 2 por 100.

Pasemos ahora al fósforo. Aquí los límites son bastante extensos, pero es preciso, sin embargo, no emplear fundiciones demasiado fosforosas; el consumo de cal sería mayor, la resuflación más larga, la merma más considerable y más rápido el uso del revestimiento. Si se emplean fundiciones con más de un 3 por 100, el calor del baño resultaría considerable y habría pérdidas por volatilización.

Se recomienda, pues, en general para las fundiciones que han de defosforarse, la composición siguiente.

| | |
|-------------------|------------------|
| Silicio de..... | 1 á 1,25 por 100 |
| Manganeso de..... | 1 á 2 |
| Fósforo de..... | 1 á 2,5 |
| Azúfre..... | 0,25 lo más. |

Art. 4.º—Fabricación del acero por la reacción entre el hierro colado y el hierro dulce.

244. Procedimiento de Martín Siemens.—

Este procedimiento está fundado en el principio expuesto por Reaumur en su obra sobre la fabricación del acero, publicada el año de 1722, que consiste en incorporar á un baño de fundición líquida la cantidad de hierro dulce necesaria para que repartiéndose el carbono de aquélla en toda la masa, resulte éste con la proporción conveniente para constituir un acero con el grado de carburación que se desee.

Este procedimiento participa, pues, del segundo y tercer método, pues hay carburación del hierro dulce y decarburación de la fundición. Sin embargo, luego de mezclado el hierro colado con el hierro dulce, el resto del tratamiento, hasta la obtención del producto final, debería en rigor incluirse en el tercer método, porque el baño metálico acaba de afinarse á expensas del oxígeno del óxido de hierro formado durante la operación ó que se ha añadido desde un principio, pues Reaumur se servía de hierro viejo, es decir, de hierro oxidado y en algunas variantes del procedimiento actual se reemplaza el total ó parte del hierro dulce por mineral rico y puro.

El principal defecto que presentaba el procedimiento de Reaumur, era el no poder depurar convenientemente el producto, que no podía obtenerse lo suficientemente fluido para que las escorias se separasen con facilidad.

Para obtener buenos resultados era preciso desarrollar en el aparato una temperatura lo suficientemente elevada para que el producto metálico resultase en estado de fusión. El Comandante Alexandre, de la artillería de la marina francesa, puede decirse que resolvió la cuestión hacia el año de 1861, no habiendo obtenido buenos productos por haber hecho uso de fundiciones impuras. Mr. P. Martín, dueño del establecimiento de Sireuil, consiguió, haciendo uso de fundiciones puras, y sobre todo, gracias á la elevada tempe-

ratura desarrollada en los hornos de calor regenerado, sistema Siemens, de que se sirvió, excelentes resultados; y que su método, conocido con el nombre de Martín Siemens, haya adquirido un desarrollo creciente de día en día.

245. *Descripción del horno Martín Siemens.*—Como el calor desarrollado en la combustión es independiente de la temperatura del aire comburente y de la del cuerpo combustible, y como una parte de él se emplea en calentar estos elementos, siendo en general perdido, Siemens tuvo la idea de recoger la mayor parte del calor que llevan los gases de la combustión al salir por la chimenea de los hornos y aplicar este calor para calentar el combustible y el aire con que debía quemarse. Con este objeto transformaba primeramente el combustible sólido en combustible gaseoso, por medio de una combustión incompleta en un aparato especial, y en este estado lo introducía en el horno al mismo tiempo que el aire necesario para su combustión, calentados ambos á una cierta temperatura, la cual se aumentaba con la desarrollada por su combustión. Para conseguir esto, los productos de ella antes de llegar á la chimenea, se hacen pasar por unas cámaras de ladrillos refractarios, á los cuales ceden la mayor parte del calor que llevan. Cuando estas cámaras están suficientemente calientes, por un juego de válvulas convenientemente dispuesto, se hace pasar por ellas los gases combustibles, y el aire para su combustión, que robarán el calor á los ladrillos, y aumentarán, por consiguiente, el que se desarrollará en el interior del horno. Los gases saldrán de éste más calientes que si su combustión se hubiese verificado estando fríos, y haciéndolos pasar por otras cámaras de ladrillos, calentarán á éstos más fuertemente aún, y por consiguiente, volviendo á invertir el juego de las válvulas, el aire y los gases entrarán más calientes en el horno, y la temperatura de éste iría aumentando indefinidamente si no hubiese pérdidas por conductividad y no estuviera, por otra parte, limitada por la de disociación del ácido carbónico, que se calcula en unos 2500°.

El horno de Martín Siemens (figs. 67, 68, 69 y 70, lámina VIII) para la fabricación del acero por reacción, es un horno de reverbero provisto de regeneradores de Siemens. Tiene una sola puerta de trabajo *a* en uno de los lados mayores, y en frente una piquera para la colada *b*. A derecha é izquierda, en los lados menores, existen las cuatro aberturas *c, c, c, c*: las dos de un lado por donde entran el aire y los gases combustibles, y las del otro, por donde salen los productos de la combustión.

La plaza está formada por una capa de arena de 15 á 20 centímetros de espesor, colocada sobre una gruesa plancha de palastro enfriada por una corriente de aire ó agua. Tiene una forma cóncava, cuyo punto más bajo está del lado de la piquera.

Los regeneradores *d, d, d, d*, son cuatro cámaras rellenas de ladrillos refractarios formando conductos sinuosos y que corresponden: dos á la extremidad derecha del horno, y otras dos á la izquierda. Al mismo tiempo que por las dos de la derecha, por ejemplo, entran en el horno por una los gases que se han de quemar, y por la otra el aire, los productos de la combustión salen del horno, penetran en las de la izquierda, y desde aquí se escapan á la chimenea.

La cantidad de ladrillos empleados en cada cámara, debe calcularse de manera que los más próximos al horno puedan adquirir una temperatura poco menor que la de éste, quedando los inferiores á unos 150 ó 200° que es la temperatura con que deben entrar los gases en la chimenea para que haya el suficiente tiro.

El cambio de la corriente gaseosa se efectúa por medio de las válvulas *e* y *f*. La *e*, que sirve para introducir en el horno los gases combustibles, y la *f* el aire para la combustión. En la disposición en que están representadas las válvulas, los gases combustibles vendrán por el conducto *g*, pasarán por el *h* á una de las cámaras de la derecha, y desde aquí penetrarán en el horno, mezclándose con el aire, que al mismo tiempo, siguiendo la dirección de las flechas, ha pe-

netrado por la válvula *f* tomando el conducto *h'* para dirigirse á la otra cámara de la derecha. Los productos de la combustión penetrarán en las cámaras de la izquierda, y repartiéndose por los canales *h''* y *h'''* pasarán á la chimenea por los *l* y *l'*.

A intervalos regulares, de hora en hora ó de media en media hora, se invierte el juego de las válvulas, y entonces los gases y el aire penetrarán por los conductos *h''* y *h'''* en las cámaras de la izquierda, donde tomarán el calor que habían dejado en ellos los productos de la combustión, y después de quemados pasarán á las cámaras de la derecha, y de aquí por los *h* y *h'* y los *l* y *l'* á la chimenea.

Las válvulas *e* y *f* permiten graduar la cantidad de gases y aire que penetra en el horno, y por lo tanto, puede hacerse á voluntad que la llama sea oxidante ó reductora, dejando entrar el aire en una proporción mayor ó menor que la necesaria para la combustión.

Las dimensiones del horno varían con la capacidad de éste; los primeros que se construyeron eran de cabida de 2 á 3 toneladas; pero hoy día pueden contener de 8 á 10 y algunos más.

246. *Gasógeno*.—El horno de Siemens exige para su empleo el concurso de otro aparato, el *gasógeno*, para transformar en gas el combustible. Describiremos uno de los más generalmente adoptados.

El aparato (fig. 71, lám. VIII) se compone de una cámara formada de ladrillos refractarios. Tres de las paredes son verticales y formadas de dos espesores de ladrillos refractarios, entre los que se interpone una capa de arena para atenuar las pérdidas de calor y el escape de gases en el caso de que se produjera alguna grieta. La cuarta pared forma un plano inclinado de 40 á 60°; la parte superior está formada de planchas de hierro cubiertas de ladrillos refractarios y la inferior es una parrilla, cuyos barrotés están horizontales. El fondo de la cámara está un poco inclinado para retener el agua que vierte constantemente un tubo, y forrado de plancha de palastro para impedir las filtraciones.

La carga se efectúa por medio de los cilindros de palastro *a* colocados en la parte superior de la cámara de combustión. Estos cilindros, después de llenos de combustible, se cierran con sus tapaderas de palastro, y por medio de la palanca de contrapeso *b* puede abrirse la válvula *c* y dejarlo caer en el hogar sin que haya escape de gases.

Puede emplearse cualquier clase de combustible y en general se aprovecha aquel que tiene mala aplicación para otros usos, como menudo de hulla, polvo de cok, lignitos, turbas y hasta serrín y virutas de madera. Se carga como acabamos de decir, y por intervalos regulares abriendo las válvulas *c*, y por consiguiente, descenderá gradualmente por el plano inclinado y al calentarse abandonará primeramente sus elementos volátiles, como son los hidrógenos carbonados, agua y un poco de amoniaco y ácido carbónico. Después, el residuo sólido, al llegar en frente de la parrilla, se transformará en ácido carbónico por el aire que penetra á través de ella; pero este ácido carbónico, al atravesar una capa de combustible candente, toma otro equivalente de carbono y se convierte en óxido de carbono.

Además, el agua que se vierte constantemente en el fondo de la cámara de combustión, se vaporiza en parte y este vapor, en contacto del carbón candente, se descompone desprendiendo hidrógeno y formándose óxido de carbono.

Este gas, que procede de la descomposición del agua, es de mejor calidad como combustible que el que proviene de la combustión del carbono por el aire atmosférico, pues cada metro cúbico de vapor de agua proporciona un metro cúbico de hidrógeno y casi otro tanto de óxido de carbono, mientras que por cada metro cúbico de este último gas producido por el aire atmosférico, entran en el aparato dos metros cúbicos de azoe, que como impropio para la combustión, disminuye notablemente el poder calorífico del gas.

La mezcla gaseosa asciende por el tubo vertical *d*, pasa por el horizontal *e* y vuelve á descender por el *f*, y de aquí, por otros conductos subterráneos, llega á la válvula de admi-

sion de los regeneradores. Durante este trayecto, los gases se enfrían, aumentan de densidad y con esto se consigue que tengan un exceso de presión sobre la de la atmósfera, que impide que el aire pueda penetrar por las uniones de los tubos y formar mezclas detonantes. Se facilita el enfriamiento en el tubo *e* dejándolo sin revestir, como están los *d* y *f*, y de este modo se condensan en él el alquitrán y otros productos volátiles, que se reúnen en el depósito *g*, de donde se les extrae abriendo la llave inferior. Los tubos tienen además compuertas como las *h* y *h'* para verificar su limpieza en tiempo oportuno.

247. *Principales ventajas de los hornos Siemens.*—Las principales ventajas de los hornos Siemens son las siguientes:

1.^a Se realiza una economía de combustible, que puede graduarse en un 40 ó 50 por 100 si se emplea el mismo combustible en el gasógeno que en los hornos comunes; pero como ordinariamente se emplean malos carbones, que no pueden tener aplicación en éstos, resulta mucho mayor la economía.

2.^a Se produce una temperatura mucho más elevada y uniforme que la que es posible obtener en los demás hornos valiéndose de combustibles sólidos.

3.^a La llama es mucho más limpia, pues no arrastra hollín, cenizas y otras impurezas que pueden perjudicar la calidad de los productos.

Y 4.^a Como ya hemos dicho, puede graduarse á voluntad la intensidad del calor y la composición química de la llama. Es decir, que puede hacerse que sea oxidante ó reductora hasta cierto punto, pues ya sabemos que el hierro es oxidado por el ácido carbónico, y, por lo tanto, el óxido de carbono tendría que estar en gran exceso y no podría desarrollar la temperatura conveniente á causa de la escasez de aire comburente.

248. *Marcha de la operación.*—Descrito ya el aparato para la fabricación del acero por reacción, vamos á dar algunos detalles de la manera cómo se conduce el trabajo;

pero antes de empezar á describir la operación debemos manifestar que varían algo los métodos empleados respecto á las materias que se hacen reaccionar con la fundición.

Puede hacerse uso de hierro dulce, que se hace disolver en la fundición, como aconsejaba Reaumur.

Puede reemplazarse la totalidad ó parte del hierro dulce por menas ricas y puras.

En vez de hierro dulce en barras puede hacerse uso de hierro en esponja, como se obtiene en el procedimiento de Chenot, ó de zamarras procedentes del pudlado.

Cualquiera que sea la variante del procedimiento, la primera operación consiste siempre en introducir el total del hierro colado que ha de entrar en reacción. Este hierro colado se introduce en el horno cuando éste se halla á la temperatura del blanco, después de haberlo calentado á una temperatura próxima á la de su fusión en otro horno de reverbero accesorio calentado con hulla ó, lo que es preferible, con gas.

Cuando todo el hierro colado se ha liquidado, se le deja durante una media hora para que adquiriera una elevada temperatura, y entonces empieza á introducirse por cargas de 100 á 200 kilogramos el hierro en barras, retales de hierro y acero, hierro viejo, zamarras, menas de hierro, aislados ó mezclados, pero calentados de antemano al rojo claro para que no se enfríe el baño metálico. Estas cargas se efectúan por intervalos de tiempo regulares hasta añadir el total de los materiales que deben entrar en reacción. Si suponemos, por ejemplo, que por cada 100 kilogramos de hierro colado se hayan introducido 300 de hierro dulce, y que el hierro colado contenga 4 por 100 de carbono, resultarán 400 kilogramos de un metal con 1 por 100 de carbono. Pero en realidad no sucede así; pues no es posible calentar y fundir el metal sin que se oxide una parte del hierro y del carbono; y como el hierro colado contiene también generalmente silicio y manganeso, que también se oxidarán, el producto será menor de 400 kilogramos y contendrá menos de 1 por 100

de carbono, produciéndose en cambio una cierta cantidad de escorias.

Por consiguiente, en este procedimiento el hierro colado sufre también un verdadero afino como en el pudlado y en el de Bessemer, con la sola diferencia de que se efectuará muy lentamente. En efecto, el aire no puede estar en exceso, por que entonces no podría desarrollarse la temperatura suficiente para mantener el baño en fusión, y por consiguiente la llama no puede ser muy oxidante; además la acción oxidante de esta llama no puede ser muy enérgica, porque estando el metal fundido no puede hacer más que lamer su superficie, y por último, las escorias serán más bien ácidas que básicas, á causa del revestimiento silíceo del horno. El afino se verificará muy especialmente por el óxido de que se encuentre cubierto el hierro añadido y el que se ha formado durante la calda, por el de los minerales que se añadan ó por las escorias ricas de que están impregnadas las zamarras de los hornos de pudlar y los blooms de los aparatos rotatorios. Estos óxidos reaccionan sobre el carbono y demás elementos de la fundición, produciendo una ligera efervescencia que conserva la homogeneidad á toda la masa. Si es preciso, se favorecen las reacciones batiendo el baño líquido con un espetón. Las escorias van haciéndose cada vez más ácidas y cuando se ha formado una cierta cantidad de ellas, se hacen salir por la puerta de trabajo, recogíendolas en artenas de hierro colado.

Cuando se ha introducido la cantidad de hierro dulce que se calcula necesaria para obtener el producto de la especie que se desea, se toman á intervalos varias muestras, las cuales se ensayan. Estas muestras se toman sacando con un cazo una pequeña cantidad de metal que se cuele en una pequeña lingotera, forjando el lingote que resulta, con lo cual se conoce su grado de maleabilidad y partiéndolo después para juzgar de su calidad por el examen de la fractura. De esta manera, como la operación es muy lenta, puede apreciarse con mucha exactitud la marcha del afino y de la

decarburation. Si las fundiciones empleadas son muy puras y contienen poco silicio, puede detenerse la operacion cuando se ha llegado á la dosis de carbono que se desea; pero generalmente se continúa hasta oxidar lo más posible el silicio y demás elementos extraños, y el producto, que contendrá una cierta cantidad de óxido en disolucion, se refina añadiendo fundicion especular ó ferromanganeso.

El óxido de hierro se reduce, parte por el manganeso y parte por el carbono de la fundicion añadida, y como la fundicion especular contiene mayor proporcion de carbono que el ferromanganeso, deberá hacerse uso de ella cuando se desee obtener acero y se empleará el ferromanganeso para tener hierro ó acero dulce.

Por último, cuando el ensayo de la muestra manifiesta que el metal tiene el grado de carburacion que se desea, se procede á la colada.

249. Con la anticipacion conveniente se enciende un fuego de leña en la piquera del horno para que no se enfríe el metal en el momento de la colada. Las lingoteras se colocan en el borde de una plataforma que pueda moverse verticalmente y girar alrededor de un eje por medio de un mecanismo hidráulico, con lo cual es fácil llevar sucesivamente debajo del chorro liquido cada una de las lingoteras. Cuando ha llegado el momento oportuno, se rompe la piquera, y por medio de un embudo de hierro colado colgado de ella, se va distribuyendo el metal en todas ellas. Si el lingote que hay que colar es demasiado grande y necesita el empleo de dos ó más hornos, se dispóné la lingotera en una fosa practicada en el taller, y el contenido de cada horno se recibe en un caldero de colada idéntico al empleado en el procedimiento de Bessemer. Estos calderos se conducen por vías férreas al borde de la fosa y se vierten en el molde sucesivamente, pero de manera que uno empiece antes de que el anterior haya concluido, con objeto de no interrumpir el chorro liquido, sin lo cual podrían originarse fallas en el metal del lingote.

El tiempo que dura la operación es por término medio de siete á ocho horas, de modo que pueden hacerse tres operaciones cada veinticuatro horas. Sin embargo, en muchos establecimientos no hacen más que dos diarias, para reparar la solera.

250. Las proporciones que deben emplearse para obtener el acero por reacción, son sumamente variables, pues dependen de la calidad de las primeras materias empleadas y de la del producto que se desee obtener. Citaremos como ejemplo, tomándolas del *Tratado de Metalurgia* de Gruner, las que emplean ordinariamente en Landore cerca de Swansea:

| | |
|----------------------------------|--------------------|
| Fundición..... | 4650 á 4200 kilgs. |
| Desperdicios de barras de acero. | 750 á 800 |
| Hierro viejo..... | 850 á 1000 |
| Mineral rico..... | 750 á 1000 |

La merma, cuando se emplea el procedimiento normal, es decir, cuando no se hace uso más que de fundición y hierro dulce, viene á ser de un 7 á un 8 por 100; pero si se hacen adiciones de mineral rico, puede obtenerse un peso de acero mayor que el total de fundición y hierro dulce empleados.

251. A pesar de la elevada temperatura que se desarrolla en los hornos Siemens, el consumo de combustible no llega nunca á igualar en peso al del metal producido. Generalmente por cada tonelada de acero obtenido se consumen de 500 á 600 kilogramos de hulla. Esto es lo que se consume en Terrenoire, á lo cual hay que añadir sin embargo unos 200 más empleados en el caldeo preliminar de los hierros; pero este consumo podría reducirse mucho si este caldeo lo efectuasen también en reverberos Siemens, como se hace en varios establecimientos, en el Creusot, por ejemplo.

252. *Fundiciones tratadas.*—Si quiere obtenerse buenos productos, es preciso que las fundiciones sean puras; sobre

todo que estén exentas de azufre y fósforo, pues siendo la acción oxidante muy débil, á causa principalmente de la naturaleza ácida de las escorias, que generalmente contienen más de un 50 por 100 de sílice, es muy imperfecta la expulsión de estos elementos. Particularmente el fósforo queda por completo en el producto, pues los silicatos ácidos que forman la escoria descomponen todos los fosfatos que pudieran formarse.

Sin embargo, una parte de las fundiciones empleadas pueden ser impuras; la parte que se introduce después de convertirla en hierro dulce por el pudlaje, pues ya hemos visto que esta operación practicada en una solera ferruginosa quita á la fundición la mayor parte del fósforo. En el Creusot obtienen excelentes aceros en el horno Martín Siemens empleando los blooms de hierro pudlado obtenidos en el horno Bouvard con hierros colados de mediana calidad.

Puede hacerse uso también en totalidad de fundiciones procedentes de minerales impuros, con tal de someter estas fundiciones á un afino preliminar, bién en una forja de afino, en un reverbero ó en el mismo crisol del horno alto.

Pero sobre todo, lo más ventajoso sería el poder tratar directamente en el mismo horno las fundiciones fosforosas reemplazando el revestimiento silíceo por un revestimiento básico, como se ha hecho en el Bessemer. Ahora más adelante veremos que esta modificación se encuentra en vías de buen éxito.

253. *Productos obtenidos.*—Es evidente que en el horno de Martín Siemens, así como en el aparato de Bessemer, y aun más fácilmente que en este último, pueden obtenerse á voluntad todos los grados de carburación comprendidos entre la fundición blanca y el hierro dulce; pues todo se reduce á variar las proporciones relativas de fundición y hierro empleados.

Mr. Martín distingue en sus patentes cuatro clases de productos.

1.º El *metal mixto*, que apenas puede forjarse.

2.º El *acero para herramientas*, ó acero propiamente dicho.

3.º El *acero dulce ó metal homogéneo*.

4.º El *hierro fundido*, que es quebradizo en caliente, porque no es en realidad más que un hierro quemado.

254. *Ventajas del procedimiento por reacción.*—La principal ventaja del procedimiento por reacción, es el poder utilizar, como hemos dicho, para la fabricación del acero común y de hierro homogéneo, los hierros dulces procedentes de hierros colados de mediana calidad, cuyos hierros colados no podrían ser tratados en el aparato ordinario de Bessemer.

Además, el método de reacción procura también la ventaja de poder utilizar los cabos de las barras laminadas, retales, toda clase de restos, hierros viejos, etc.

Gracias á la lentitud de la operación, pueden con toda seguridad obtenerse los productos de la calidad que se desee. Esta misma lentitud es, sin embargo, causa de que su rendimiento sea menor que el del Bessemer; pero en cambio el costo de instalación es más moderado. El Bessemer conviene á los grandes establecimientos y el reverbero de Siemens á los establecimientos más modestos.

255. *Defosforación en el horno de Martin Siemens.*—En vista de los satisfactorios resultados obtenidos en el convertidor básico en el tratamiento de las fundiciones fosforosas, se ha procurado imitar el mismo procedimiento aplicándolo á los hornos de reverbero en que se obtiene el acero por reacción. El sistema no se ha generalizado todavía mucho; pero sin embargo, nosotros lo hemos visto establecido en el Creusot, donde está en marcha corriente desde antes de Mayo de 1880; es decir, antes de que en dicha fábrica se adoptase definitivamente el procedimiento de Thomas y Gilchrist. No poseemos datos bien precisos sobre la manera de proceder. Sabemos, sin embargo, que la solera se hace con ladrillos de dolomia aglomerada con alquitrán, la bóveda del horno de ladrillos refractarios ordinarios, y se unen con un cordón de *baucita* ó de grafito.

Se carga al principio de la operación, como en el procedimiento ordinario, retales más ó menos puros, y de cuando en cuando se hacen adiciones de cal, á fin de tener constantemente escorias bién básicas. De tiempo en tiempo se sacan las escorias, vertiéndolas al final completamente. Eliminadas éstas, puede añadirse el *spiegel-eisen* en el baño mismo, ó bién verterlo en el caldero de colada, como en el Bessemer, puesto que no hay que temer la refosforación del metal.

Los Ingenieros del Creusot opinan que es más fácil tratar las fundiciones fosforosas en el horno de Martín que en el de Bessemer.

Se han fabricado por este procedimiento aceros de diferentes durezas; planchas de palastro, lingotes para alambre de acero y para clavos. Este último punto merece llamar la atención, porque estas piezas sufren durante su fabricación diferentes operaciones que fatigan mucho el metal, y á pesar de esto se han obtenido buenos resultados.

Se han hecho igualmente cierto número de llantas, y puede decirse, en resumen, que los aceros defosforados del Creusot se distinguen por una pureza relativa muy grande, y aunque queden aún que hacer varias mejoras bajo el punto de vista de la calidad de los productos, puede decirse que la fabricación está absolutamente asegurada para los aceros comunes, como son los aceros para carriles.

A continuación damos, tomándolo de la *Revue d'Artillerie*, un cuadro de los análisis hechos en el Creusot sobre varias muestras de metal y escorias tomadas en diferentes épocas de la operación, cuadro que forma parte de una comunicación presentada por Mr. Gautier en la *Société des Ingénieurs civils* (1).

(1) *Mémoires et compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils*.—Sesión del 9 de Enero de 1880.

| DESIGNACIÓN | | Fundición para rails Creusot. | 1. ^a Toma de ensayo. | 2. ^a Toma de ensayo. | 3. ^a Toma de ensayo. | 4. ^a Toma de ensayo. | 5. ^a Toma de ensayo. | 6. ^a Toma de ensayo. | 7. ^a Toma de ensayo. | 8. ^a Toma de ensayo. |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| HORA DE LA TOMA DE ENSAYO | | 2 ^h | 3 ^h 20' | 3 ^h 51' | 4 ^h 45' | 5 ^h 45' | 7 ^h | 7 ^h 25' | 9 ^h 30' | |
| Metal. | Carbono total..... | 1,947 | 1,754 | 1,572 | 0,497 | 0,517 | 0,150 | 0,290 | 0,180 | 0,403 |
| | Silicio..... | 0,454 | 0,151 | Vestig. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Manganeso..... | 0,324 | 0,180 | 0,170 | 0,160 | 0,125 | 0,075 | 0,080 | 0,075 | 0,225 |
| | Fósforo..... | 1,611 | 1,556 | 1,380 | 1,104 | 1,104 | 0,590 | 0,359 | 0,135 | 0,033 |
| | Azufre..... | 0,332 | 0,356 | 0,279 | 0,240 | 0,232 | 0,285 | 0,255 | 0,277 | 0,267 |
| Escorias. | Sílice..... | » | 33,525 | 21,375 | 23,500 | 20,315 | » | 17,450 | 14,786 | 12,235 |
| | Alúmina..... | » | 7,370 | 5,984 | 7,786 | 6,372 | » | 11,628 | 8,468 | 11,328 |
| | Protóxido de hierro..... | » | 9,102 | 10,629 | 10,215 | 6,570 | » | 14,994 | 27,198 | 21,987 |
| | Cal..... | » | 19,850 | 35,700 | 35,750 | 40,200 | » | 37,100 | 33,250 | 32,850 |
| | Magnesia..... | » | 8,784 | 7,503 | 8,454 | 10,394 | » | 7,323 | 6,405 | 6,917 |
| | Acido fosfórico..... | » | 1,226 | 5,556 | 5,494 | 4,228 | » | 4,962 | 6,502 | 2,342 |
| | Acido sulfúrico..... | » | 1,567 | 0,812 | 0,687 | 0,750 | » | 0,260 | 0,572 | 1,075 |
| | Protóxido de manganeso.. | » | 17,484 | 11,070 | 7,905 | 9,672 | » | 4,500 | 2,371 | 11,160 |
| TOTAL..... | » | 98,908 | 98,629 | 98,791 | 98,501 | » | 98,217 | 99,552 | 99,894 | |

118 kilogramos de mineral de Mokta.

Insuflación.

Extracción de la escoria: 50 kilogramos de cal, 37 kilogramos de Mokta.

50 kilogramos de cal, 50 kilogramos de Mokta; insuflación.

125 kilogramos de cal, 125 kilogramos de Mokta.

25 kilogramos de cal, 25 kilogramos de Mokta; insuflación.

Colada: 60 kilogramos de ferromanganeso á 70 por 100.

256. Acero por reacción en el horno de Pernot.—El horno de Pernot, que presenta ventajas apreciables en el afino ordinario, puede, convenientemente modificado, emplearse también con utilidad en el afino por reacción. El aparato funciona en el establecimiento de Saint-Chamond y como se ve en las figuras 72 y 73, lám. IX, se diferencia muy poco del empleado en el pudlaje (199). Está calentado con gas por el sistema de Siemens. La plaza está constituida por una gruesa plancha de palastro revestida de ladrillos refractarios recubiertos por un apisonado de arena arcillosa. Tiene una sola puerta *P* para la carga, y la colada se efectúa por una piquera *p* practicada en la parte inferior.

Cuando el horno está dispuesto para la carga, se introduce la fundición que se va á tratar calentada al rojo y el hierro dulce frío, todo de una vez. El horno se pone en movimiento con una velocidad de tres vueltas por minuto desde antes de empezar la carga, para que el hierro y la fundición se repartan bién. Concluída la carga, se deja el horno en marcha. Pronto empieza á fundirse el hierro colado, y cuando esté líquido, ocupará la parte más baja de la plaza; las materias sólidas, por el contrario, son arrastradas por el movimiento del horno, penetrando y saliendo sucesivamente del baño líquido, y removiéndolo constantemente. Al salir del baño quedan expuestas á la acción de la llama, y el óxido formado opera el afino cuando los trozos de hierro penetran en el baño de fundición. De esta manera se activa la oxidación, y gracias al continuo movimiento de las materias, el producto resulta muy homogéneo.

Cuando el afino es completo, se añade una cierta cantidad de fundición especular ó de ferromanganeso para refinar el producto y darle el grado de carburación que se desee, continuando el horno en movimiento hasta que el ensayo de las muestras, que se toman de vez en cuando, manifieste que el metal satisface á las condiciones deseadas. Entonces se detiene el horno de manera que la piquera quede en la parte más baja y correspondiendo al canal que la pone en comu-

nicación con el caldero de colada. En este estado se procede á la colada rompiendo la piquera con un espetón.

Con el horno de Pernot, se reduce á más de la mitad la cantidad de hulla quemada. Por cada 1000 kilogramos de acero obtenido, se consumen de 410 á 420 kilogramos de carbón, á saber: de 340 á 350 kilogramos en los gasógenos y unos 70 próximamente en el horno de recalentar. Esta economía es debida al empleo del mecanismo, que facilitando la disolución del hierro en la fundición y la oxidación del baño, reduce el tiempo de la operación á más de la mitad. Por consiguiente, se duplica también la producción diaria y se disminuye la mano de obra. Pero es probable que estas ventajas no puedan compensar los mucho mayores gastos de instalación y entretenimiento que presenta el horno de Pernot sobre el reverbero ordinario de Martín.

258. Fundición tenaz.—Al tratar del procedimiento por reacción no debemos dejar de mencionar un nuevo producto ó *metal miato*, que ocupa un lugar intermedio entre la fundición blanca y el acero duro. Bajo esta denominación puede comprenderse la *fundición tenaz* (*toughened cast iron*) de los ingleses y la *fundición afinada* (*Sein Eisen*) de los alemanes.

Es sabido que los hierros colados son tanto menos duros y más tenaces cuanto mayor es la proporción de metales terrosos y silicio que contienen, y por consiguiente, pueden modificarse sus cualidades eliminando más ó menos completamente los elementos extraños. La simple refusión en el cubilote ó en el reverbero produce ya cierta depuración, pues esta fusión no puede efectuarse sin que el metal se oxide algo, lo cual da lugar á un principio de afino. Esta es la razón de la superioridad que presentan en general los hierros colados de segunda fusión. Pero el afino puede hacerse más enérgico por otros medios.

En Inglaterra se prepara la fundición tenaz haciendo obrar en el momento de la colada el hierro dulce sobre el hierro colado. Con este objeto se disponen de trecho en tre-

cho en los canales de colada, por donde debe pasar la fundición, pequeños trozos de hierro dulce, que en el momento de la colada son rodeados por la fundición y quedan á medio fundir, constituyendo una mezcla poco homogénea de fundición y hierro, en la cual se encuentra este metal en una proporción que varía de un 20 á un 40 por 100. Esta mezcla se somete á una nueva fusión en un cubilote ó en un horno de reverbero. El hierro dulce y el óxido de hierro formado durante la operación obran como en el procedimiento de Martín; pero como se añade menos hierro dulce, el producto tiene más analogía con el hierro colado que con el acero.

Sometiendo á esta operación una fundición pura, se obtiene un producto á medio decarburar de bastante tenacidad y que toma una gran dureza por el moldeo en conchas metálicas.

Puede obtenerse un producto análogo refundiendo el hierro colado gris de primera fusión con cierta dosis de metal procedente de los hornos de afino.

En Kanigshutte (Silesia) se prepara el hierro colado afinado (*Sein Eisen* ó *Rein Eisen*) refundiendo en hornos de reverbero hierro colado gris bajo la acción de una corriente de aire forzado. Este aire afina el hierro colado, quitándole la mayor parte del silicio que contiene. Este metal se emplea muy particularmente para fabricar cilindros laminadores.

En Buckau, cerca de Magdeburgo, se prepara un producto conocido con el nombre de *metal de Gruson*, destinado especialmente á la fabricación de proyectiles cilindro-ojivales y placas de blindaje para torres. El procedimiento de fabricación es secreto, pero debe tener alguna analogía con lo que acabamos de indicar; es decir, que debe ser un hierro colado semiafinado, pues la proporción de carbono que contiene no excede de un 2,50 por 100.

Art. 5.º—Clasificación de los aceros.

259. La clasificación de los aceros en las diferentes fabricaciones es aún más variada que la de los hierros, consecuencia natural de la diversa calidad de productos que pueden obtenerse. Así es que nos limitaremos á mencionar algunas de ellas.

En el párrafo **228** hemos dado ya á conocer la clasificación austriaca de los aceros de Bessemer.

A continuación damos, tomándolo de la *Gaceta Industrial* (1), la que se hace en el establecimiento de Seraing (Bélgica).

Los aceros de dicha fábrica se clasifican en las clases siguientes:

Se les da el nombre de *extradulces* á aquellos aceros cuyo contenido en carbono está entre 0,05 y 0,20 por 100. La fuerza de tracción de este acero es de 25 á 32 toneladas por pulgada inglesa cuadrada, y el alargamiento previo á la rotura llega de 20 á 27 por 100 en barras de 0,20 centímetros. Este acero puede soldarse, pero no toma el temple y se usa para palastro, chapas para cascos de buques, calderas, alambre, clavos, etc.

La segunda clase ó *acero dulce*, la forman aquellos que contienen de 0,20 á 0,35 por 100 de carbono. Tienen fuerza de tracción de 32 á 38 toneladas, pero son menos dúctiles y su alargamiento es sólo de 15 á 20 por 100. Esta clase se temple mal y se suelda con dificultad, y es la materia que en dicha fábrica se destina á hacer los carriles, los ejes, llantas y cañones.

La tercera clase, llamada *acero duro*, se caracteriza por un contenido de carbono de 0,35 á 0,50 con una fuerza de tracción de 38 á 46 toneladas y un alargamiento de 15 á 20

(1) *Gaceta Industrial*, 25 Abril 1880.

por 100. Esta clase no se suelda; pero puede templarse. Se usa para carriles, llantas, muelles, vástagos, martillos, etc.

El otro acero, que es el más duro, contiene de 0,50 á 0,68 por 100 de carbono. Tiene una resistencia á la tracción de 46 á 51 toneladas, y sólo tiene alargamiento de 5 á 10 por 100 en las barras de 0,20. No se suelda, pero toma un temple muy fuerte, y se usa para herramientas, limas, sierras y para muelles delicados.

En el Creusot se clasifican los aceros por el examen de sus propiedades, su resistencia, alargamiento á la rotura y los efectos que en ellos produce el temple, prescindiendo por completo para su clasificación de su composición química.

Los aceros se clasifican en tres calidades representadas por las letras *A*, *B* y *C*. Corresponden á la clase *A* los aceros obtenidos por el procedimiento de Bessemer, á la *B* los fabricados por el método de Martín-Siemens y á la *C* los producidos por el mismo método, pero con materiales escogidos, de tal modo, que esta calidad resulte comparable al mejor acero fundido en crisol.

Se subdividen además en números progresivos, que indican el grado de dureza, desde el número 1, el más duro, hasta el número 9 para la calidad *A*, hasta el 10 para la calidad *B* y hasta el 11 para la calidad *C*.

En el siguiente estado se especifican las principales aplicaciones de estas diversas especies de aceros.

Marta Agui se del.

| Números de dureza. | Calidad y aplicaciones. | | |
|--------------------|--|---|--|
| | A | B | C |
| 1 | | Comercialmente conocido bajo el nombre de <i>acero dulce ordinario</i> , adoptado con grado variable de dureza para barras redondas, planas, cuadradas y perfiladas, piezas de máquina, ejes de carruaje, árboles, motores, etc.; | |
| 2 | Empleado especialmente para carriles y otros materiales de fabricación corriente, de dureza variable según las exigencias de cada comprador. | y en planchas, para aforros de buques y para gualderas de los afustes de artillería. | Se aplica á la construcción de planchas para calderas de vapor, y los de menor dureza se usan especialmente para bocas de fuego, sunchos de artillería y cañones de fusil. |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | Conocido por la denominación de <i>acero dulce superior</i> , y empleados especialmente en piezas de máquina, armaduras y planchas de calderas, puentes, tornillos de prensa, etc. | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | — | | |
| 11 | — | | |

Para hacer la clasificación, se toman en el momento de la colada varias muestras que se forjan y con las que se construyen barretas cilíndricas de 100^{mm} de longitud y 200^{mm}² de sección. Se templan varias de estas barretas, calentándolas al rojo vivo y enfriéndolas en un baño de aceite y todas se someten á ensayos de tracción.

Todas las que sin templar den el mismo alargamiento, corresponden al mismo número en las tres calidades de acero.

El siguiente estado manifiesta los resultados de los ensayos de tracción sobre estas diversas clases de aceros.

| NUMEROS DE CLASIFICACION. | CALIDAD A. | | | | | | CALIDAD B. | | | | | | CALIDAD C. | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| | SIN TEMPLAR. | | | TEMPLADO. | | | SIN TEMPLAR. | | | TEMPLADO. | | | SIN TEMPLAR. | | | TEMPLADO. | | |
| | Carga correspondiente. | | Alargamiento por 100 a la rotura. | Carga correspondiente. | | Alargamiento por 100 a la rotura. | Carga correspondiente. | | Alargamiento por 100 a la rotura. | Carga correspondiente. | | Alargamiento por 100 a la rotura. | Carga correspondiente. | | Alargamiento por 100 a la rotura. | Carga correspondiente. | | Alargamiento por 100 a la rotura. |
| | A la rotura. | Al limite de elasticidad. | | A la rotura. | Al limite de elasticidad. | | A la rotura. | Al limite de elasticidad. | | A la rotura. | Al limite de elasticidad. | | A la rotura. | Al limite de elasticidad. | | A la rotura. | Al limite de elasticidad. | |
| Kilóg. p. m/m ² | Kilóg p m/m ² | | Kilóg. p. m/m ² | Kilóg p m/m ² | | Kilóg p. m/m ² | Kilóg p m/m ² | | Kilóg. p. m/m ² | Kilóg p m/m ² | | Kilóg. p. m/m ² | Kilóg p m/m ² | | Kilóg. p. m/m ² | Kilóg p m/m ² | | |
| 1 | 76,2 | 39,0 | 13 | 117,0 | 72,0 | 2 | 77,7 | 41,1 | 13 | 119,3 | 78,5 | 3,8 | 79,0 | 43,2 | 13 | 123,0 | 85,0 | 5 |
| 2 | 73,6 | 37,8 | 15 | 110,5 | 68,3 | 4,8 | 74,9 | 40,0 | 15 | 115,0 | 75,5 | 5,7 | 76,2 | 42,2 | 15 | 118,3 | 82,0 | 6,6 |
| 3 | 70,3 | 36,4 | 17 | 105,6 | 65,8 | 7,2 | 71,8 | 38,8 | 17 | 108,0 | 71,0 | 7,8 | 73,2 | 41,0 | 17 | 112,0 | 78,0 | 8,6 |
| 4 | 68,8 | 34,9 | 19 | 96,8 | 60,6 | 9,4 | 68,2 | 37,3 | 19 | 99,0 | 65,4 | 10,2 | 69,8 | 39,8 | 19 | 104,8 | 72,5 | 10,8 |
| 5 | 62,8 | 33,2 | 21 | 88,6 | 56,2 | 11,1 | 64,4 | 35,8 | 21 | 91,0 | 62,1 | 12,6 | 65,9 | 38,3 | 21 | 99,0 | 68,8 | 13,3 |
| 6 | 58,0 | 31,0 | 23 | 78,7 | 50,3 | 13,2 | 59,7 | 33,8 | 23 | 82,0 | 55,0 | 14,8 | 61,5 | 36,5 | 23 | 89,8 | 62,2 | 16,0 |
| 7 | 53,2 | 28,8 | 25 | 68,6 | 43,8 | 14,6 | 55,0 | 31,8 | 25 | 73,8 | 49,8 | 17,0 | 56,8 | 34,8 | 25 | 81,2 | 56,9 | 18,2 |
| 8 | 49,2 | 26,6 | 27 | 61,2 | 37,8 | 18,0 | 50,5 | 29,6 | 27 | 65,8 | 44,7 | 19,5 | 52,2 | 32,7 | 27 | 72,6 | 51,2 | 20,6 |
| 9 | 45,0 | 22,5 | 29 | 56,2 | 33,6 | 21,0 | 46,7 | 27,5 | 29 | 58,8 | 40,0 | 22,0 | 48,2 | 30,7 | 29 | 63,8 | 45,3 | 23,4 |
| 10 | > | > | > | > | > | > | 41,3 | 23,6 | 32 | 51,8 | 33,0 | 24,2 | 43,5 | 27,8 | 32 | 53,2 | 37,2 | 27,6 |
| 11 | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | 39,3 | 24,4 | 35 | 46,0 | 32,8 | 33,0 |

La fábrica de hierros y aceros del Pedroso (provincia de Sevilla) clasifica los aceros fundidos según manifiesta el siguiente estado, que está conforme con lo propuesto por monsieur Deshayes, Ingeniero de Terrenoire.

| Denominación. | Resistencia absoluta (1). | Propiedades. | Aplicaciones. |
|--------------------|---------------------------|--|--|
| Núm. 1. Muy duro. | 90 y 108 Kgs. | Maleable; pero no puede soldarse..... | Herramientas para taladrar, tornear, cepillar, fresar y concluir objetos duros. Limas y cinceles para picarlas |
| Núm. 2. Duro..... | 80 y 89 > | Difícil de soldar, consiguiéndolo un obrero hábil. | Propio para cuchillas, navajas y objetos anteriores; pero ménos delicados, excepto limas y cinceles. |
| Núm. 3. Semiduro.. | 70 y 79 > | Muy maleable, y se suelda tomando precauciones... | Diversas piezas de máquinas, sujetas á fuertes rozamientos; matrices para hacer remaches, martillos, muelles, etcétera. |
| Núm. 4. Semisuave. | 60 y 69 > | Se suelda fácilmente.... | Las mismas anteriores con algunas restricciones: cañones de fusil, tubos, ejes, chapas para cubriciones, tornillos, etc. |
| Núm. 5. Suave.... | 50 y 59 > | Extraordinariamente maleable, muy fácil de soldar..... | Cañones de armas de fuego, baquetas y demás piezas de las mismas. |
| Núm. 6. Muy suave. | 40 y 49 > | Gozan en alto grado de las propiedades anteriores, y apenas reciben temple.. | Todos los objetos que deban ser estampados y chapas para calderas. |

(1) La resistencia absoluta se ha deducido de experiencias hechas en la Fábrica nacional de Trubia, en las que, por ejemplo, una barrita de acero número 3, de 13 milímetros de sección y 100 milímetros de longitud, encastrada por sus extremos, soportó un peso de 12 toneladas métricas.

CAPÍTULO VI

TRABAJO DEL HIERRO COLADO DEL DULCE Y DEL ACERO

260. En los capítulos precedentes hemos dado á conocer cómo pueden obtenerse las diferentes variedades de productos férreos. Si para confeccionar los diversos objetos de fundición, hierro y acero, pudiera trabajarse la materia bruta, resultante de las operaciones explicadas, por procedimientos puramente mecánicos, como se trabaja, por ejemplo, la madera ó la piedra, nuestra tarea estaría ya terminada. Pero el trabajo mecánico de estos metales es tan delicado, la manera de llevarlo á cabo influye tanto en sus propiedades, que no es posible que la Siderurgia termine con la obtención de la materia metálica más ó ménos pura, como sucede con la Metalurgia de los demás metales, si no que es preciso que se ocupe también de los diferentes trámites porque tiene que pasar dicha materia para llegar á su forma definitiva.

La exposición detallada de las diferentes operaciones mecánicas á que deben someterse los productos siderúrgicos saldría muy fuera de los límites que hemos fijado á esta obra; por consiguiente, sólo nos ocuparemos de dar unas nociones generales sobre la manera de trabajar dichos productos para darles ventajosamente la forma deseada.

Art. 1.º—Trabajo de la fundición.

261. Moldeo del hierro colado.—La fusibilidad relativamente grande del hierro colado, hace que pueda emplearse desde luego en la fabricación de muchos objetos de forma más ó menos complicada ó que no deben sufrir esfuerzos de tal naturaleza que reclamen el empleo del hierro dulce ó del acero. Esto se consigue fácilmente confeccionando un *molde*, esto es, una envuelta sólida presentando un hueco cuya forma sea sensiblemente la del objeto que se trata de obtener, molde que se llena con la fundición en estado líquido, la cual, al solidificarse, conservará próximamente la figura de la cavidad que con ella se ha llenado. La pieza que de este modo se obtenga, podrá quedar concluída con solo algunos ligeros retoques, ó bien necesitará todavía el ser cepillada ó torneada.

262. Cualidades que debe tener la fundición de moldeo.—Las cualidades que debe presentar el hierro colado destinado al moldeo, dependen de la naturaleza del objeto que con él quiera fabricarse. Generalmente se procura que las fundiciones sean á la vez *duras y tenaces*; pero estas dos cualidades no pueden encontrarse en grado máximo en una misma fundición, pues son casi exclusivas una de otra; es decir, que las fundiciones más duras son generalmente las más frágiles. En la mayoría de los casos hace falta también que la fundición de moldeo presente la *dulzura* necesaria para poder trabajarse en frío y concluir el objeto moldeado. La dulzura tiene que conseguirse á expensas de la dureza, pues también son dos cualidades contradictorias. En algunos casos se prescinde de las cualidades resistentes de la fundición y se desea únicamente que sea muy *fluida* para que llene bien el molde y reproduzca con exactitud sus más finos detalles.

Veamos en qué grado poseen las propiedades mencionadas las diferentes variedades de fundición.

La fundición blanca no conviene en general para el moldeo á causa de su fragilidad; pero como esta fundición puede provenir del enfriamiento rápido de la fundición gris, en ciertos casos en que se desea que la superficie de un objeto sea dura, se cuele la pieza con fundición gris para que sea resistente y se dispone el molde de manera que la superficie, enfriándose bruscamente, se transforme en fundición blanca. Este resultado se obtiene ordinariamente colándola en moldes metálicos de mucho espesor, llamados *conchas*, y es el que se sigue para la fabricación de los cilindros laminadores y de los proyectiles de ruptura.

La fundición gris clara puede emplearse en la fabricación de piezas de grandes dimensiones, pues las piezas pequeñas coladas con esta clase de fundición, blanquean con mucha facilidad. Para las piezas que, como los cañones y los cilindros laminadores, necesitan ser duras y tenaces, la fundición que se emplea no debe ser ni gris ni blanca. La fundición gris no tiene la dureza y compacidad necesarias y rompería inopinadamente por falta de elasticidad. La fundición blanca sería por el contrario demasiado agria. Lo que conviene es una mezcla de las dos fundiciones, que presente una fractura *manchada* ó *atruchada*, lo más blanca posible, sin que sea tanto sin embargo, que dificulte el torneado. La fundición debe ser homogénea y estar exenta de ampollas. Su grano debe ser fino y apretado y su textura astillosa, pues los granos gruesos no se adhieren bien unos á otros, mientras que los granos finos forman largas agujas que entrelazándose entre sí se oponen á la rotura.

La gris, propiamente dicha, es la más á propósito para el moldeo. Llena bien los moldes, se mantiene bastante tiempo líquida y no endureciéndose, á no ser por un enfriamiento demasiado brusco, presenta buenas condiciones para el trabajo de cincel, lima, torno, etc., á que deben someterse las piezas para terminarlas después de fundidas.

La fundición gris oscura de grano grueso, puede ya emplearse en el moldeo de piezas muy macizas.

La fundición negra, á causa del mucho grafito que contiene y su poca tenacidad, no es á propósito.

Para la elección de las fundiciones de moldeo, es preciso tener también en cuenta lo que hemos dicho en el primer capítulo respecto á la acción que sobre ellas ejercen los cuerpos extraños que más comunmente contienen.

263. Fundiciones de primera fusión.— Los moldes pueden llenarse directamente del horno alto, es decir, en *primera fusión*, y esto constituye una economía para el fundidor; pero por este medio no deben fabricarse más que piezas de grandes dimensiones y macizas ó piezas groseras que no requieren una gran resistencia, pues la fundición al salir del horno alto no se encuentra suficientemente purgada de escorias y contiene generalmente mucho silicio y azufre, por lo cual suelen resultar las piezas con escarabajos, ampollas y otros defectos. En casos muy excepcionales, cuando se emplean menas muy puras, se hace uso del carbón vegetal y se lleva una marcha uniforme, se puede, como sucede en Suecia, colar directamente del horno alto piezas que necesitan una gran resistencia, como son las bocas de fuego.

264. Fundiciones de segunda fusión.— El mejor metal para moldeo se obtiene incontestablemente por la refusión en aparatos especiales de los hierros procedentes de los hornos altos. Como esta refusión es necesariamente oxidante en más ó menos grado, se quemará una parte del carbono y de los cuerpos extraños como el silicio, azufre y fósforo, y purificándose, por consiguiente, la fundición aumentará su tenacidad. Por esta circunstancia las fundiciones poco carburadas, como las grises claras por ejemplo, no convienen para la segunda fusión, porque el afino podría llegar á ser excesivo y el metal no conservaría la suficiente fluidez para el moldeo.

Es indispensable emplear la segunda fusión, cuando se necesitan fabricar piezas muy grandes, para cuya confección, no es suficiente el contenido del crisol del horno alto.

En fin, la segunda fusión permite la mezcla de fundiciones de diferente naturaleza con objeto de obtener un metal de las condiciones que se desee. Esta mezcla purifica los productos, porque además de que muchas sustancias extrañas se eliminan por oxidación, como su número es mayor que en cada una de las fundiciones tomadas aisladamente, deben formarse silicatos múltiples, y por lo tanto muy fusibles, que se separarán durante la fusión.

Para determinar la especie de las fundiciones que deben mezclarse y las cantidades respectivas de cada una de ellas, lo cual se llama *fórmula de fusión*, se reconocen por medio del examen de la fractura y se desechan desde luego las que se consideran de mala calidad, como por ejemplo, las demasiado grises y grafitosas, y las que manifiesten cavidades ó ampollas.

Entre las demás examinadas se escogen las que se juzgue convenientes, y se funde un objeto análogo á los que se trate de fabricar, el cual se somete á pruebas que puedan dar indicio de su resistencia. Si se trata, por ejemplo, de la fabricación de cañones, el objeto de prueba será un cañón de un calibre determinado, con el que se tirará hasta reventar, anotando escrupulosamente todas las circunstancias del tiro y examinando la fractura para poder modificar la fórmula de fusión en el sentido conveniente si el resultado no es el apetecido. Se juzga además de la calidad de la mezcla construyendo con el mismo metal varias barretas de ensayo, que se someten á diferentes pruebas mecánicas.

265. Aparatos para la fusión del hierro colado.—Los hornos empleados con dicho objeto, son de diversas especies según las circunstancias. Los más generalmente empleados son los *cubilotos*; pero cuando se necesita producir una gran cantidad de fundición de una sola vez, se hace uso de *hornos de reverbero*, y por el contrario, cuando no haga falta más que una pequeña cantidad, puede fundirse en *crisoles* calentados en un horno de viento.

266. Cubilote.—El cubilote, es un horno de cuba de

forma cilíndrica formado por planchas de palastro, y revestido interiormente de una capa de arcilla refractaria con más ó ménos mezcla de arena. El tercio superior, que necesita menos reparaciones, puede construirse de ladrillos refractarios.

El hueco interior es cilíndrico ó ligeramente tronco-cónico, y la plaza está inclinada hacia la piqueta por donde se efectúa la sangría.

Las cargas de hierro colado y combustible, se introducen por la parte superior, en la cual suele disponerse una chimenea de palastro para la evacuación de los productos gaseosos.

El aire necesario para la combustión entra en el aparato por varias toberas, colocadas á diferentes alturas con objeto de ir elevando los chorros de viento á medida que va subiendo el nivel de la fundición líquida.

Las toberas están separadas unas de otras 5 centímetros generalmente, y la primera serie de éstas, suele colocarse á 35 ó 40 centímetros de la plaza del cubilote.

El cubilote es uno de los aparatos metalúrgicos donde mejor se aprovecha el calor desarrollado por la combustión. El hierro colado que trata de fundirse y el combustible, encontrándose mezclados, el calor debido á la combustión del último, es directamente absorbido por el primero y no habrá más pérdidas que las que resulten por conductividad por las paredes del aparato, y por el calor que lleven los productos gaseosos que salen por el tragante. La pérdida originada por la conversión del ácido carbónico en óxido de carbono, es muy pequeña en el cubilote, porque la cantidad de carbón necesaria para la fusión del hierro colado, no es lo suficientemente grande para que dicha transformación se efectúe en gran cantidad.

Para utilizar mejor el calor producido, es conveniente estrechar la sección al nivel de las toberas para que acelerándose la fusión, disminuyan las pérdidas por conductividad y dar al aparato la altura suficiente para que salgan los gases á una temperatura poco elevada.

En los cubilotes que no tienen arriba de 2^m á 2^m,5 de altura, los gases salen ardiendo por el tragante y se consume de 20 á 30 por 100 de cok, mientras que en los que tienen de 5 á 6 metros de altura y estrechada la zona de fusión, el consumo de cok puede reducirse á 6 ó 7 por 100.

267. Como tipo de cubilote podemos citar el de Ireland empleado en la fundición de Borsig (Berlín.) Las figuras 74 y 75 de la lám. IX, representan dicho cubilote. Es de plancha de palastro, y está revestido interiormente de ladrillos refractarios. La zona de fusión está estrechada y rodeada por una caja de viento, cuya disposición permite refrescar la camisa al mismo tiempo que calienta el aire inyectado.

Está provisto de dos filas de toberas que pueden funcionar separada ó simultáneamente, valiéndose de los registros *a a*. Las toberas grandes son cuatro y tienen ocho pulgadas de diámetro; y las pequeñas, en número de diez y seis, tienen tres pulgadas.

La presión del viento inyectado, es de catorce pulgadas de agua.

A representa la puerta de carga y *B* la de descarga. Esta última está tapiada con ladrillos, encontrándose la piqueta para la colada en la parte inferior. Esta pared se deshace después de cada operación para vaciar el horno.

Este cubilote puede fundir de dos á tres toneladas de fundición por hora, con un consumo de cok de 10 á 12 por 100, comprendiendo el necesario para encender el aparato, y una merma de un 4,5 á 5 por 100.

Para encenderle se llena de cok hasta unas ocho pulgadas del tragante; después se carga un poco de castina, y por encima dos toneladas de metal en lingotes y menudo y 1,5 quintal de cok; después de lo cual se van introduciendo cargas compuestas de 25 quintales de hierro colado y 1,5 de cok, y una capa de castina entre cada dos cargas.

268. Hornos de reverbero.—La fundición obtenida en el cubilote no es perfectamente homogénea, sobre todo cuando el producto debe resultar de la mezcla de di-

versas especies de hierro colado. Además, por la simple fusión en el cubilote, la fundición no sólo no se purifica de sus elementos extraños, sino que puede resultar sulfurosa por su inmediato contacto con el combustible. Cuando quiera obtenerse una fundición á la vez dura y tenaz, con muy poco silicio y en gran cantidad, como para la fabricaci3n de piezas de artillería ó cilindros de laminadores, debe hacerse uso de hornos de reverbero, en los cuales puede elevarse rápidamente la temperatura, el metal no se encuentra en contacto con el combustible y sufre un principio de afinó á causa de que la llama es siempre algo oxidante.

Las figuras 76 y 77, lám. IX, representan los hornos de reverbero empleados en la fábrica de Trubia para refundir el hierro colado que ha de servir para la fabricaci3n de cañones.

Estos hornos están pareados, como indica la figura, y cada uno tiene una puerta *a* para la carga de la fundición, con un contrapeso para levantarla y cuyas junturas se enlodan durante la fusión, y otra *b* para cargar el hogar, la cual se mantiene tapada con el mismo combustible.

La plaza está inclinada hacia el tragante de la chimenea, y en su parte más baja están practicadas dos piquerías *c c* colocadas á diferente altura y tapadas con arcilla.

La bóveda, como en todo horno de reverbero, va rebajándose á medida que se aleja del hogar para obligar á la llama á que se refleje para abajo lamiendo la solera. Igualmente la secci3n de ésta va estrechándose, siendo su forma un trapecio, prolongaci3n del que forma el hogar.

Encendido y cargado el horno, y cuando la fundición empieza á liquidarse, es preciso removerla para repartir igualmente el calor y hacer que tenga una composici3n uniforme. Este braceo se opera por medio de la abertura *d* cerrada por una portezuela que tiene un agujero, tapado con arcilla, por cuyo agujero se examina de cuando en cuando el estado del baño.

Para disminuir la oxidaci3n es preciso mantener las pa-

rillas muy cubiertas para que no entre aire en exceso, aunque no conviene tampoco el que se forme mucho óxido de carbono, pues se disminuiría la temperatura y se aumentaría el gasto de combustible.

El consumo de éste, cuando el trabajo no es continuo y la carga se efectúa en frío, puede elevarse á un 80 y hasta un 100 por 100, lo cual da, suponiendo un 10 por 100 de cenizas, 5800 á 7200 calorías por kilogramo de fundición; y como el calor necesario es solamente de 280 á 300 se ve que el efecto útil del combustible es solamente de un 4 á un 5 por 100.

La fusión resulta mucho más económica, sin perder ninguna de las ventajas que presenta el reverbero sobre el cubilote, efectuándola en hornos calentados por gas, como los del sistema de Siemens, en los cuales el gasto de combustible no suele exceder de un 20 por 100, fundiéndose de 1500 á 1800 kilogramos de fundición por hora.

269. Confeción de los moldes en general.—

Los objetos que han de fabricarse por medio del moldeo, pueden tener formas sumamente variadas, y por lo tanto su ejecución presenta grandes diferencias, que no nos es posible tratar en detalle. Nos ocuparemos, pues, únicamente de describir en general el moldeo de los objetos macizos, cuya operación está reducida á formar con una materia plástica una envuelta que presente una cavidad de forma y dimensiones iguales á la del objeto que se trate de producir, y el de los objetos huecos, en cuyo molde debe colocarse una masa sólida llamada *núcleo* ó *alma*, de la misma forma del vacío del objeto.

Los moldes se construyen generalmente de arena, á la cual se agrega una cierta proporción de arcilla para que pueda aglutinarse con facilidad. Ambas sustancias sufren una preparación preliminar para desembarazarlas de las materias extrañas que pudieran perjudicar al éxito de la operación y se les añade una cierta proporción de carbón en polvo, que impide la vitrificación de las partes del molde

que se hallan en contacto con el metal en fusión y hace que las superficies resulten menos rugosas.

Algunas veces se hacen los moldes de barro cocido ó simplemente desecado, y en ciertos casos particulares se hace uso de moldes metálicos.

270. Para confeccionar un molde, se apisona la arena en cajas sin fondo, alrededor de un *modelo* que presente próximamente la forma y dimensiones del objeto que se trata de obtener.

La forma y dimensiones del modelo no deben ser exactamente iguales á las del objeto que se quiera fabricar: los motivos son fáciles de comprender.

Cuando se vierte la fundición en el molde, queda líquida durante algún tiempo y ejerce entonces, por su peso, una presión sobre las diferentes partes del molde, presión que naturalmente es mayor en la parte inferior que en la superior. La arena cede algún tanto á esta presión y el molde experimenta por lo tanto una cierta deformación, que convendrá tener en cuenta al hacer el modelo.

Cuando la fundición pasa del estado líquido al sólido, sufre una pequeña dilatación; pero al seguir enfriándose, se contrae, y la contracción que entonces experimenta, es mucho mayor que la dilatación debida á la solidificación; de suerte que en definitiva resulta una contracción. Esta contracción, varía con la naturaleza de la fundición, desde 4 á 15 milímetros por metro; siendo por término medio de 1 por 100 próximamente. Se debe, pues, dar al modelo dimensiones un poco mayores que las que deba tener el objeto fundido, y para esto suele emplearse para la construcción de los modelos reglas de 101 centímetros divididas en 100 partes.

Los modelos se construyen de yeso cuando los objetos que quieren fabricarse son pequeños y escasos en número; pero cuando han de reproducirse muchos, se construyen de madera ó metal.

Para los objetos que no son demasiado grandes, y sobre

todo si deben reproducirse muchos ejemplares, se prefieren generalmente los modelos metálicos, que se gastan menos y no se deforman fácilmente. Si el modelo debe tener gran volumen, se le hace de madera para que sea menos pesado y por consiguiente más fácil de manejar; y en algunos casos, cuando el cuerpo es un sólido de revolución, suele construirse el modelo de barro sobre una armadura de madera ó ladrillos, según las dimensiones, dándole la forma por medio de una terraja que gira alrededor de un eje y cuyo borde sea la meridiana del modelo.

Un modelo debe componerse casi siempre de varias partes; porque, después de haber confeccionado la envuelta hueca que constituye el molde, es preciso retirarle de esta envuelta ántes de proceder á la colada, lo que exige imperiosamente que el molde, y la mayor parte de las veces el modelo, se compongan de varias partes. Se necesita además, que cada parte del modelo pueda retirarse de la correspondiente del molde, ó como ordinariamente se dice, que tenga *despiezo*. Para conseguir este resultado, es preciso que los planos de unión estén trazados por las líneas de mayor ó menor curvatura. Si se trata de una esfera, por ejemplo, el modelo podría ser de una sola pieza; pero es más cómodo dividirlo en dos, en cuyo caso la unión de los dos semimodelos se verifica por la línea de menor curvatura, es decir, por un círculo máximo. En las piezas de artillería, la unión de las diferentes partes del modelo se efectúa generalmente según las líneas de mayor curvatura, es decir, según paralelos.

Los moldes, si son de arena, se construyen dentro de unas cajas de fundición, ó más bién *marcos*, puesto que no tienen fondo, de espesor proporcionado á la presión interior que tengan que soportar, divididas en tantas partes como debe tener el molde, para poder extraer el modelo, y cuyas diferentes piezas están reunidas unas á otras por medio de pernos de chaveta. Para ejecutar la operación, se coloca en el primer marco la parte correspondiente del modelo; el es-

pacio comprendido entre ambos, se rellena con arena de molería un poco húmeda, mezclada con cierta proporción de polvo de hulla, cuya arena se va comprimiendo con un pisón hasta llegar al borde de dicha fracción de modelo; entonces se espolvorea la superficie con un polvo muy seco, se coloca la parte siguiente del modelo y el marco correspondiente, que se une al anterior por medio de sus pernos. Se entierra del mismo modo esta segunda parte del modelo, pasando después á moldear la tercera, y de igual manera todas las demás hasta concluir.

Terminado el moldeo es preciso sacar el modelo del interior del molde. Esto se ejecuta muy fácilmente volviendo á separar los marcos, empezando por el último y desenterrando con precaución las diferentes partes del modelo. Después de lo cual y de haber retocado lo que haya podido estropearse durante esta operación, vuelven á unirse en la misma disposición y quedará en la arena un hueco de la misma forma del objeto que se trata de colar, hueco que debe llenarse con la fundición líquida.

Para la entrada de ésta en el molde debe haberse dejado en éste una abertura en forma de embudo llamada *bebedero*, el cual suele practicarse colocando en el momento del moldeo un modelo á propósito.

Si la pieza que va á colarse tiene poca altura, el bebedero puede establecerse en la parte superior; pero si su altura es algo considerable, la caída del metal líquido destruiría más ó menos la parte inferior del molde. Para evitar este accidente, se establece el bebedero lateralmente y de modo que venga á desembocar en la parte inferior, con cuya disposición el metal, subiendo lentamente, no puede producir una alteración muy sensible en el molde. Sin embargo, aun así la fundición puede arrastrar algunos granos de arena que, deteniéndose en su marcha, producirán defectos en la pieza. Este inconveniente puede remediarse haciendo entrar el hierro colado por un chorro inclinado relativamente á la cavidad del molde; el movimiento de rotación que toma en-

tónces el metal reúne en la superficie todas las materias extrañas, y es, por lo tanto, más segura la perfección de la pieza.

271. Cuando se ha terminado el molde puede procederse á la colada, bién inmediatamente ó bién después de haberlo desecado en una estufa; pero en todo caso siempre es preciso practicar algunos respiraderos para dar salida á los gases que se desprenden. Estos gases están constituídos: por el aire atmosférico, que se encuentra naturalmente aprisionado en el molde y por el que es arrastrado por el chorro líquido; por el vapor de agua que desprende el molde, más ó menos húmedo, en contacto de la fundición; y en fin, por el ácido carbónico de la caliza mezclada á la arcilla en proporción más ó menos grande. La elevada temperatura de la fundición al entrar en el molde hace reaccionar estos gases entre sí y sobre los elementos del molde y de la misma fundición, dando lugar á otros varios productos gaseosos, como son: hidrógeno, procedente de la descomposición del vapor de agua; y óxido de carbono, resultante de la oxidación de parte del carbono de la fundición y del de las paredes del molde. Todos estos gases deben escaparse, tanto por los poros del molde como por los respiraderos practicados en él, sin lo cual quedarían aprisionados en el metal, quedando éste ampolloso y lleno de escarabajos.

272. Si la pieza que se va á fundir debe ser hueca, es preciso construir un sólido de la misma forma del hueco, que debe colocarse en el interior del molde. Este sólido, llamado *alma*, se construye generalmente sobre un eje hueco de fundición ó de palastro lleno de agujeros, ó estriado longitudinalmente para favorecer el desprendimiento de los gases. Sobre dicho eje se arrolla una trenza de paja ó esparto que, después de quemada, facilitará su extracción, y sobre ésta, con arena ó barro y sirviéndose de matrices á propósito, se construye el alma, asegurándola, cuando es muy voluminosa, con alambres que se atraviesan por el eje.

Quando para el moldeo de una pieza hueca de grandes di-

mensionen quiera ahorrarse la confección de un modelo, se establece un alma que se dispone de tal modo que entre ella y la parte del molde que forma el hueco pueda introducirse el metal. Según las dimensiones, se construye el alma toda de barro ó de ladrillos recubiertos de una capa de tierra ligeramente arcillosa, convenientemente humedecida, á la que se da la forma deseada por medio de una terraja de madera que pueda girar alrededor del alma. Se hace en seguida secar y se aplica una capa de carbón en polvo desleído en agua, que después de bién seco impide la adherencia de la nueva capa de tierra que se aplica en su superficie y cuyo espesor debe ser igual al que ha de tener el metal de la pieza. Después de haber recubierto esta nueva capa de carbón desleído, se construye la envuelta exterior. Luégo se retira esta última, se destruye la capa intermedia, se seca el molde cuidadosamente, y reunidas las dos partes, puede ya procederse á la colada.

273. Los moldes se desecan en estufas calentadas con cok ó en hornos de reverbero.

Cuando los objetos deben presentar una gran dureza superficial, se hace uso de moldes metálicos, que apresurando el enfriamiento exterior, producen en la fundición el mismo efecto que el temple en el acero. Esta clase de molde se compone generalmente de dos conchas de hierro colado reunidas de una manera conveniente y que pueden separarse para la extracción de la pieza moldeada.

En algunos casos se hace uso de moldes mixtos, es decir, que una parte es metálica y el resto de arena. Así, por ejemplo, se construyen proyectiles cilindro-ojivales, en los cuales únicamente la parte correspondiente á la punta debe estar endurecida, y con este objeto el molde se compone de una concha metálica, que ha de formar la ojiva, sobre la cual se aseguran las cajas en las que se construye con arena el molde del cuerpo del proyectil.

274. Por el contrario, en otros casos, se disponen los moldes para producir el enfriamiento por la parte interior de

la pieza colada, como se practica por el procedimiento Rodman, introducido en España por el Brigadier Coronel de artillería de la Armada D. José Gonzalez Hontoria.

El objeto de este procedimiento no es, como el mencionado anteriormente, el endurecimiento de la superficie sometida directamente al enfriamiento, sino provocar un agrupamiento molecular, de tal modo que resulten ciertas tensiones permanentes en sentido opuesto á los esfuerzos que tenga que resistir la pieza, aumentando, por lo tanto, la resistencia de ésta.

Es fácil hacerse cargo de la manera de obtener este resultado. Si suponemos el metal líquido que llena el molde dividido en capas concéntricas al eje, que el interior se enfríe, bién por una corriente de agua ó por una corriente rápida de aire y que se retarde el enfriamiento exterior, resultará que la capa más próxima al eje se enfriará la primera, solidificándose y contrayéndose sin dejar de estar en vuelta y en íntimo contacto con la siguiente capa; ésta á su vez se enfriará y al contraerse tendrá necesariamente que comprimir á la primera, la segunda será comprimida por la tercera y así sucesivamente hasta llegar á la exterior. De modo que si la pieza tiene que soportar una presión interior, como sucede en los cañones, en cuya fabricación se emplea especialmente este sistema, dicha presión tendrá que equilibrar la compresión que de fuera á dentro ejercen las diferentes capas en que hemos supuesto descompuesto el metal antes de empezar á obrar sobre la tenacidad de éste.

El enfriamiento de los cañones fundidos por el sistema Rodman se efectúa estableciendo una corriente de agua que entra por un tubo que desciende hasta la parte inferior del ánima y se evacua por otro que hay en la parte superior. Esta corriente se hace pasar primero por el interior del árbol del alma, extrayendo ésta cuando el metal en contacto con ella se ha solidificado, y haciéndola pasar entonces por la misma ánima de la pieza.

Las cajas que contienen el molde se envuelven con una

especie de horno, que puede construirse con ladrillos ordinarios, el cual se mantiene constantemente encendido para evitar el enfriamiento exterior.

La rapidez de la corriente, que dura varios días, debe graduarse según las tensiones calculadas. Si el enfriamiento no es suficientemente enérgico, no se conseguirá el efecto que se trata de producir, y si, por el contrario, es demasiado rápido, podría excederse de la resistencia á la extensión de las capas exteriores y la pieza se rompería al enfriarse.

275. Colada. —Para proceder á la colada, si los moldes son de grandes dimensiones, se colocan ó entierran en fosas practicadas cerca del aparato que ha de suministrar el metal líquido, bién sea el horno alto, el cubilote ú horno de reverbero, de manera que la fundición pueda llegar á ellos corriendo por unas canales ó regueras abiertas en el piso del taller, canales que deben tener una pendiente bastante rápida para que la fundición no se espese por permanecer mucho tiempo en ellas; pero no demasiado, sin embargo, porque si el metal lleva mucha velocidad, podría estropear el molde al caer en él.

Si los moldes no tienen dimensiones excesivas, ó si no pueden colocarse á proximidad del horno, se recibe la fundición en calderos de palastro, revestidos interiormente de arcilla ó ladrillos refractarios, que por medio de gruas ó por una vía férrea se conducen al sitio donde se encuentre el molde.

Cuando son pequeños los moldes se hace uso de un cazo de hierro manejado por dos hombres, los cuales van á llenarlo á la piqueta del horno y en seguida distribuyen su contenido en los diferentes moldes.

Llenos los moldes, se encienden los gases que salen de ellos para evitar que formándose mezclas detonantes, puedan producirse explosiones.

276. Conclusión de las piezas moldeadas. — La pieza, al salir del molde, no puede darse por terminada. Las uniones de las cajas quedan marcadas en relieve, la

arena se adhiere á la fundición, y además algunas piezas tienen necesidad de ser calibradas y ajustadas á dimensiones más exactas que las que pueden obtenerse por el moldeo. Las rebabas y desigualdades de la fundición se quitan con el cincel y la lima. Algunos objetos se cepillan, barrenan ó tornean.

En una palabra, todos los objetos, según su forma, su dimensión ó su empleo, deben someterse á una serie de operaciones secundarias, que sería muy largo describir, y que por otra parte es fácil comprender.

Art. 2.º—Trabajo de hierro.

277. Forja.—El hierro y el acero se trabajan del mismo modo por medio de la forja: es decir, que se les da la forma que se desea, calentándolos hasta que hayan adquirido la temperatura á la cual se hacen lo suficiente blandos para ceder al choque del martillo. La única diferencia consiste en que en el acero esta temperatura es tanto más baja, cuanto más carburado es, y en que es preciso tomar más precauciones que con el hierro para que no se decarbare ó se quemere.

En vista de esto, deberíamos describir simultáneamente la forja de los dos metales; pero, para mayor claridad, nos ocuparemos en este artículo de la del hierro y acero soldados, designándolo bajo el epígrafe de *Trabajo del hierro*, porque éste es el que se obtiene más especialmente en este estado, y en el siguiente, bajo la denominación de *Trabajo del acero*, por razones análogas, trataremos del modo de trabajar el acero y hierro fundidos. Mejor dicho, en este artículo describiremos la manera de trabajar las barras de hierro procedentes de las forjas ó el pudlado, haciendo notar de paso las variantes que deben introducirse al tratar el acero de las mismas procedencias; y después, en el correspondiente al *Trabajo del acero*, comprenderemos de un modo análogo el trabajo del hierro dulce fundido.

Para la forja del hierro se necesitan: primero, aparatos

especiales de recalentado donde pueda dársele la temperatura conveniente para su trabajo las veces que sea necesario hasta concluir éste, aparatos que tienen que llenar ciertos requisitos para no ocasionar mermas muy considerables ni modificar la naturaleza del metal; y después, aparatos más ó menos poderosos para darle forma cuando por la acción del calor haya adquirido el grado de maleabilidad que le permita deformarse por medio de la presión ó el choque. Describiremos primeramente estos diferentes aparatos, y luego trataremos del modo de conducir el trabajo.

278. Aparatos de caldeo.—Fragua.—La fragua es el primitivamente empleado y el más sencillo de todos. Está reducido á una cavidad que se llena de combustible y una tobera que penetra horizontal ó ligeramente inclinada en la masa de carbón, suministrando el chorro de viento que alimenta la combustión.

Si en un taller hay establecidas varias fraguas, el aire se distribuye en ellas por un portaviento general alimentado generalmente por uno ó varios ventiladores. En algunos casos, y sobre todo cuando las fraguas son portátiles, el viento es suministrado por fuelles puestos en comunicación directa con la tobera y movidos á mano ó con un pedal.

Alrededor del chorro de viento se formarán las zonas de combustión y reducción cuya temperatura y propiedades químicas varían notablemente en un espacio de reducidas dimensiones; es decir, que en la zona de combustión la temperatura será muy elevada; pero siendo al mismo tiempo la atmósfera oxidante, el metal tendrá mucha merma; por el contrario, en la zona reductora será menor la pérdida por oxidación; pero en cambio no podrá calentarse tanto el metal. Por regla general, éste se coloca encima del viento en el límite común de la zona oxidante y de reducción, aproximándole á la primera cuando deba ser calentado hasta el blanco soldante, y á la segunda, cuando sea preciso calentarlo moderadamente, como sucede con el acero, que debe ser forjado á una temperatura inferior á la del hierro y con

el cual se corre además el riesgo de quemarlo si se somete á una atmósfera oxidante.

279. Como en la fragua es necesario producir una temperatura muy elevada, no puede emplearse en ella ni la leña ni la turba; pero sí puede hacerse uso de los carbones de estas dos materias. Generalmente, se hace uso de la hulla reducida en menudos fragmentos, para que desarrolle una temperatura más elevada á causa de la mayor superficie de combustión, que de este modo presenta en relación con la que presentaría si se encontrase en trozos más gruesos.

La hulla, siendo casi siempre sulfurosa, tiende á comunicar al hierro la propiedad de ser quebradizo en caliente. Es preciso, pues, antes de ponerla en contacto con el metal, carbonizarla y depurarla. Con este objeto, cuando se añade hulla, se coloca siempre encima de las áscuas, para que se encuentre convertida en cok cuando llegue á estar en contacto con el hierro, y para favorecer la eliminación del azufre, el obrero la rocía de cuando en cuando con agua, que se descompuesta por su contacto con el combustible candente, y su hidrógeno se une al azufre para formar ácido sulfídrico, reacción que se reconoce perfectamente por el olor desprendido en este momento.

La clase de hulla que debe emplearse, es la hulla grasa ó de forja, la cual al calentarse se hace pastosa y se aglutina formando una especie de bóveda sobre la barra de hierro introducida en la fragua. El calor se concentrará dentro de esta bóveda, y en ella variarán muy poco la temperatura y composición de los gases.

280. Las fraguas tienen el inconveniente de desperdiciar una gran cantidad del calor desarrollado, y del que podría desarrollarse con una gran parte de los gases que resultan de la combustión, los cuales se escapan muy calientes y contienen una gran proporción de elementos combustibles. Además, efecto de las reducidas dimensiones de la zona de combustión que rodea al chorro de viento, es muy difícil calentar uniformemente las piezas de hierro, y tanto más

cuanto mayores sean sus dimensiones; pues un cambio de posición de algunos centímetros solamente, basta para hacer pasar al metal de la zona oxidante á la reductora, del color blanco al color rojo.

Las fraguas no convienen, pues, para un trabajo continuado, ni para la forja de grandes piezas; pero son muy útiles para el trabajo de pequeñas piezas, sobre todo cuando éste ha de interrumpirse con frecuencia ó variar constantemente de lugar. Así, por ejemplo, en muchos trabajos de calderería se hace uso de fraguas portátiles para calentar los remaches en la proximidad del sitio donde se van colocando, y ningún otro aparato calentador es susceptible de esta movilidad.

281. Reverberos.—Las caldas que es preciso dar al hierro y al acero para forjarlos ó soldarlos, se dan generalmente en hornos de reverbero, cuya construcción debe ser tal, que desarrollen un calor intenso y duradero. Para conseguir este objeto, la relación entre la superficie del hogar y la de la plaza debe ser lo mayor posible, la chimenea muy elevada y el tragante muy estrecho.

Para mayor economía, suele reemplazarse el combustible por el calor perdido de otro horno, como hemos visto, por ejemplo, en las forjas de afino (182) en las que, después de la forja propiamente dicha, se establecía un reverbero con el doble objeto de calentar previamente la fundición que debe afinarse y de recalentar los tochos para forjarlos. Pero en estos reverberos el aire exterior es constantemente aspirado por las puertas de trabajo, y por lo tanto, las mermas por oxidación resultan muy considerables. En vista de esto, conviene generalmente hacer uso de reverberos contruídos especialmente para el recalentado.

Los hornos de reverbero para el recalentado del hierro y acero, tienen mucha analogía con los empleados para el pudlaje, pero difieren sin embargo en varios conceptos. Sus paredes son macizas en vez de huecas como en los hornos de pudlar. La plaza, formada por un hormigón de tierra refrac-

taria, está al nivel de la puerta de carga. No hay chío bajo la puerta, saliendo las escorias por uno que hay practicado del lado de la chimenea. La plaza está ligeramente inclinada hacia la chimenea para facilitar la salida de las escorias. Falta el puentecillo, y el puente del hogar suele estar vaciado en toda su longitud, para que, circulando el aire por su interior, resista mejor la acción del calor.

La disposición de los hornos de reverbero varía en algunos detalles, según se destinen á soldar ó simplemente á forjar. En el primer caso, lo más esencial es poder producir una temperatura muy elevada, no inferior al blanco soldante cuando se trate de hierro, y para disminuir las mermas el tiempo necesario para la calda debe ser lo menor posible. Para satisfacer á estas condiciones, el área de la plaza no debe exceder de 2 á 2,5 veces la del hogar. El tiro debe ser muy activo, dando la suficiente elevación á la chimenea y orientando el horno, si es posible, de modo que el cenicero esté expuesto á los vientos reinantes en la localidad.

Estos hornos se destinan muy especialmente á la fabricación de piezas de dimensiones más ó menos considerables, formadas soldando entre sí barras de hierro ó acero bruto que se reúnen en paquetes. Cuando las piezas son de dimensiones tales que no pueden forjarse de una sola vez, el horno está provisto de dos puertas opuestas de mayor sección que la del paquete (figs. 78 y 79, lám. X). Este se coloca atravesado, y el intervalo entre las puertas se tabica con ladrillos mientras dura la calda.

282. En el segundo caso, cuando los hornos tienen por objeto el calentar las piezas únicamente á la temperatura necesaria para forjarlas por medio del martillo ó del laminador, las condiciones varían algún tanto de las que hemos mencionado. En primer lugar, no teniendo que ser la temperatura tan elevada como en los anteriores, el área de la plaza puede elevarse hasta cinco ó seis veces la del hogar; siendo muy conveniente, para el buen aprovechamiento del calor y por lo tanto para la economía del combustible, que

el horno tenga mucha longitud, pues de este modo los gases llegan al tragante de la chimenea menos calientes, y si las piezas que se trata de calentar se introducen por esta parte del horno y se hacen avanzar progresivamente hasta el puente, se calentarán más gradualmente y habrán aprovechado la mayor parte del calor producido. En la fábrica de Bochum (Westfalia) se emplean hornos de 8 á 10 metros de longitud para calentar los lingotes de acero de Bessemer para carriles, y gracias á esta disposición el consumo de hulla no es más que de un 17 por 100, mientras que en los hornos cortos suele llegar á un 40 y á un 50 por 100. En los hornos para soldar, la plaza debe ser indispensablemente de arena refractaria. Si fuera de escorias, se fundiría á la elevada temperatura que se desarrolla, y si de ladrillo, se desgastaría con mucha prontitud á causa de los silicatos fusibles que se forman con el óxido que sobre ella cae, y las reparaciones serían muy costosas. En los hornos de recalentar, aunque no es indispensable, se recubre también con arena la plaza, que se construye con ladrillos colocados de canto. De este modo se puede mantener siempre en buen estado con sólo ligeras reparaciones.

Lo que hay que evitar sobre todo en los hornos de recalentado, es la oxidación del metal, pues siendo á veces muy grande el número de *calentones* que hay que dar á una pieza para llevarla á la forma definitiva, las mermas serían muy considerables. Este inconveniente es particularmente muy grave cuando se trata de palastros y tanto más cuanto más finos sean.

Para evitar esto, la capa de combustible que tiene que atravesar el aire antes de penetrar en el laboratorio, debe ser bastante grande para que no resulten gases oxidantes; deben por el contrario aparecer bastante cargados de humo, lo cual indica una imperfecta combustión del carbón. Pero esto, á mas de elevar el gasto de combustible, no es suficiente para precaver la oxidación, pues ésta se verifica por el aire que entra por las puertas de trabajo aspirado por la chimenea.

Para combatir la acción del aire exterior sobre el metal que se halla en el horno, pueden colocarse las puertas en su extremidad al lado del tragante de la chimenea y el aire exterior pasará directamente á éste sin tocar el metal, ó bien puede impedirse que el aire penetre en el horno, haciendo que la tensión de los gases en el interior de éste sea mayor que la atmosférica, lo cual es muy fácil de realizar inyectando el aire en el hogar en vez de valerse del que suministra el tiro.

Como un ejemplo del primer sistema, representamos en las figuras 80 y 81 de la lám. X, un horno destinado al recalentado de planchas de palastro, llamado comunmente *horno de solera*. La plaza es de sección rectangular; el puente muy elevado para resguardar al metal de la acción oxidante de la llama; y para que ésta se extienda bien en toda la anchura del horno, el tragante se abre en forma de hendidura *a a* en la extremidad de la plaza opuesta al hogar. Esta hendidura comunica con una bóveda subterránea *b* que conduce á una chimenea común á varios hornos. La puerta de carga ocupa la misma cara del horno en que está el tragante, y de este modo el aire exterior que penetra por esta puerta va directamente á la chimenea sin pasar sobre las planchas de palastro.

Para facilitar la carga y descarga de éstas se coloca delante del marco de la puerta un rodillo de hierro colado *c* y sobre la misma plaza del horno varios largueros *d d*, que además favorecen el calentado por aislar las planchas de la solera.

285. En los reverberos de viento forzado, éste puede inyectarse bajo la parrilla introduciendo la buza en el cenicero, que en este caso se cierra con una puerta que se abre únicamente para extraer las cenizas, de cuya disposición hemos presentado un ejemplo en el hogar del horno de pudlar rotatorio (201) y en el horno de Pernot (199), ó bien se suprime por completo la parrilla y el aire se inyecta por dos ó más toberas en medio del combustible. La figura 82, lám.

na X representa un hogar de esta especie. El aire se inyecta por las toberas *a* y el combustible se carga por la tolva *b*, la cual debe mantenerse constantemente llena. Esta última disposición tiene la ventaja de que se queman por completo todas las carbonillas que caen en el cenicero en los hogares de parrilla; pero tiene el inconveniente de que la combustión es más irregular y difícil de conducir á causa de las tres diferentes zonas que siempre existen alrededor de cada chorro de viento.

286. Hornos de gas.—En los números **95** y **247** hemos enumerado las inmensas ventajas que presenta el empleo de los combustibles gaseosos, y, por lo tanto, no es de extrañar que su uso vaya extendiéndose y generalizándose cada vez más en toda clase de hornos. Así es que en los destinados á caldear y soldar el hierro y acero se ha introducido también esta mejora, con los buenos resultados indicados en los mencionados párrafos; es decir, que á más de la gran economía de combustible, puede graduarse muy fácilmente la temperatura y obtenerla muy elevada sin necesidad de que exista un gran exceso de aire, y, por lo tanto, sin que la atmósfera sea oxidante.

En las figuras 83, 84, 85 y 86 de la lám. X está representado un horno de recalentado del sistema de Siemens de calor regenerado, empleado en el Creusot para el caldeo de los lingotes de acero.

Los gases procedentes de los gasógenos y el aire para la combustión, atraviesan los regeneradores *a* y *b* ó *a'* y *b'*, colocados bajo la plaza del horno: dos de ellos antes de entrar en él y los otros dos después de salir para pasar á la chimenea, cambiando el sentido de la corriente gaseosa á intervalos de tiempo regulares, tanto mayores cuanto más elevada ha de ser la temperatura, para lo cual se hace uso de las palancas *f* y *f'*, que hacen mover las válvulas de admisión y evacue de los gases. La cantidad de gas introducido se hace variar con el mismo objeto y se gradúa por medio del volante *g*.

La plaza tiene 4^m,3 de largo por 3^m,4 de ancho y una altura bajo la bóveda de 2^m,6. La abertura por la que se introducen en el horno las piezas que se tratan de calentar tiene 3^m,5 de largo por 2^m,3 de altura; la puerta que la cierra es de ladrillos refractarios colocados en un marco de hierro. Como su peso es muy considerable, se maneja por medio de un aparato hidráulico, que se compone de un cuerpo de bomba *c* cuyo émbolo tiene dos vástagos terminados en cremalleras, las cuales engranan en dos piñones que forman cuerpo con las poleas *d*, en las que se enrollan las cadenas que sostienen la puerta. Valiéndose del volante *e* se hará penetrar á uno ú otro lado del émbolo el agua comprimida procedente de un acumulador hidráulico, y dicho émbolo, moviéndose en uno ú otro sentido, hará subir ó descender la puerta. Si la pieza no cabe por completo en el horno, se introduce la parte que se ha de forjar en una *calda*, se deja caer la puerta sobre ella y el hueco que quede se tabica con ladrillos.

287. Además de los hornos del sistema de Siemens se hace uso de otros calentados igualmente por gas por otros procedimientos, que aunque no de tantas ventajas, son más sencillos y presentan, sin embargo, una notable economía sobre los hornos ordinarios.

Los principales sistemas son los de Ponsard, Boetius y Bicheroux.

288. Mr. Ponsard utiliza, como el Sr. Siemens, el calor conservado por los gases que han atravesado el horno para añadirsele al desarrollado por la combustión; pero en vez de una circulación simultánea, aunque en sentido inverso, establece dos corrientes en sentido contrario; el aire que alimenta la combustión marcha siempre en el mismo sentido y en el opuesto los gases quemados. De este modo se suprimen las válvulas de inversión de la corriente y se reduce el número de cámaras de ladrillos. En el sistema de Ponsard los ladrillos están colocados en una cámara rectangular formando una serie de conductos aislados, recorridos los de orden

par, por ejemplo, por los gases quemados, y los de orden impar por el aire que penetra en el horno y que de este modo se calienta por conductividad. La temperatura y naturaleza de la atmósfera del horno se gradúa por medio de registros que permiten entrar una cantidad mayor ó menor de aire ó gas.

289. En el horno de Boetius, el aire no es calentado por los gases quemados, sino circulando por las paredes del generador, de manera que los productos de la combustión pueden emplearse en calentar generadores de vapor ó en cualquiera otro de los usos que ya hemos indicado.

290. En el horno de Bicheroux tampoco se calienta el aire por los gases quemados, y lo único en que se diferencia del de Boetius es en que se calienta circulando por el mismo macizo del horno, en vez de circular por las paredes del generador. Como este sistema ha empezado á introducirse en España, hemos creído deber dar algunos detalles de él, y al efecto lo hemos representado en las figuras 87, 88, 89 y 90, de la lám. XI.

La plaza del horno, en vez de ser maciza, descansa sobre placas de fundición por bajo de las cuales pasa el aire para la combustión. Este entra por *A*; después de haber pasado por debajo de la plaza, penetra por *B* en un conducto de fundición que atraviesa el puente y rodea el conducto de entrada de los gases, y desemboca, finalmente, en éste por una serie de aberturas longitudinales *C*. Los gases proceden de un generador *G* fundado en el mismo principio de combustión incompleta, en que están fundados los gasógenos del sistema de Siemens ya descrito (**246**). El horno de Bicheroux es menos costoso que el de Ponsard, más fácil de conservar en buen estado, y da sobre poco más ó menos la misma economía de combustible. Sobre los hornos ordinarios presenta las ventajas: de permitir el empleo de hullas de inferior calidad; para el mismo consumo de combustible, dar un cuarto más de producción; ser la calda mucho más regular y mejor; y la producción de vapor obtenida con el empleo de las llamas perdidas ser superior en un 50 por 100.

291. Aparatos forjadores.— Los principales aparatos empleados en la forja del hierro y el acero, son los *martillos*, los *laminadores* y las *presas*.

Desde la simple mandarría manejada por el majador, hasta las enormes masas de cien toneladas y más, que hoy día se ponen en acción por medio del vapor, los martillos forjadores han sufrido grandes variaciones tanto en su potencia como en su manera de obrar, y como quiera que los modernos de vapor, particularmente el martillo-pilón, presentan incontestables ventajas sobre los antiguos de báscula y frontales, nos concretaremos á describirlos aun cuando algunos establecimientos conserven todavía algunos martillos antiguos.

Sobre los laminadores daremos sólo algunas ideas generales, pues el descender á los detalles de la elaboración de los alambres, carriles, hierros perfilados de diversas clases, planchas, palastros, etc., y todo lo que puede fabricarse con dichos aparatos, estaría en desproporción con el resto de la obra.

Respecto á las presas, aun cuando bajo ciertos puntos de vista presentan algunas ventajas sobre el martillo, su uso se ha generalizado muy poco, y además se ha limitado á la forja de los lingotes de acero fundido, por lo cual creemos el poder prescindir de ellas.

292. Martillo-pilón.—Aun cuando la idea de un martillo que fuese movido directamente por el vapor fué ya emitida por Watt en el año 1784, sin embargo, hasta el año 1840 no se llevó al terreno de la práctica, lo cual tuvo lugar simultáneamente en Inglaterra por Nasmyth, y en Francia por Mr. Bourdon, Ingeniero del Creusot.

En el número **203**, con ocasión de su aplicación al cinglado, hemos dado una ligera idea de este aparato. Ahora nos detendremos algo más en su estudio, analizando sus principales ventajas é inconvenientes, y describiendo algún ejemplar del tipo más generalizado.

293. Las principales ventajas del martillo-pilón sobre

los martillos antiguos, son: su movimiento vertical y su curso variable. En los antiguos, la cabeza ejecuta un movimiento circular, como en los de mano, y no se aprovecha, por consiguiente, más que la componente vertical; los martillo-pilones, por el contrario, ejercen toda su acción sobre la masa que se bate. Por efecto de su curso variable, puede modificarse á voluntad el trabajo efectuado, pues si representamos por P el peso del martillo, por a la altura de caída, por T el trabajo sobre la unidad de superficie, y por S la superficie de choque, el trabajo de cada golpe será $Pa = TS$ de donde $T = Pa : S$. Por lo tanto, puede hacerse que el trabajo por unidad de superficie sea constante, haciendo variar á a convenientemente; es decir, disminuyendo la altura de caída á medida que disminuye la superficie de contacto entre la pieza que se forja y el martillo. En los martillos antiguos, siendo dicha altura constante, las partes de menor sección soportan un trabajo mayor que las más gruesas, lo contrario de lo que debe suceder, y el trabajo no puede por menos de ser defectuoso, á no ser que se cambien el yunque y cabeza del martillo para hacer variar las superficies de contacto, lo cual no puede hacerse rápidamente, y mucho menos durante la forja de las diversas partes de una misma pieza. El martillo-pilón, en una escala incomparablemente mayor respecto á su potencia, es tan dócil como el martillo de mano, y por lo tanto, pudiendo variarse á voluntad la intensidad y frecuencia de los golpes, sirve tanto para cinglar las zamarras como para trabajar cualquier clase de hierros ó aceros, y puede concluirse con toda precisión cualquier pieza de forja.

294. Los principales inconvenientes que se achacan al martillo-pilon, son: 1.º Que no permite al operario moverse alrededor del yunque y ejecutar sin incomodidad todos los movimientos que exige el trabajo de la pieza que está forjando. Y 2.º Que de todos los martillos es el que, para la misma altura, es susceptible de dar menor número de golpes por minuto. El primer inconveniente tiene poca importancia. Por

más de que las piernas del martillo no permitan al operario moverse en todas direcciones, le queda sin embargo siempre espacio suficiente para manejar cualquier pieza por complicada que sea su forja. En cuanto al segundo, podrá serlo cuando se emplee este aparato en el cinglado de las zamarras, siendo esta la razón de que muchas ferrerías inglesas conserven todavía el martillo frontal, que puede dar abasto cada uno á catorce hornos de pudlar, mientras que el martillo pilón no puede servir más que á cinco ó seis. Para la forja de grandes piezas es más esencial la precisión que la prontitud, y para las pequeñas se hace uso de martillos pequeños que puedan dar más de doscientos golpes por minuto, velocidad muy suficiente para poder forjar pequeñas piezas de acero sin que se enfrien demasiado pronto.

295. El peso de los martillo-pilones varía desde 100 hasta 30000 kilogramos. Pero desde que Mr. Krupp se atrevió á construir uno de 50000 kilogramos que expuso en Paris en 1867, se entabló la competencia entre los principales fabricantes y se empezaron á establecer martillos mónstruos. El Creusot ha construído uno de 80000 kilogramos que posteriormente ha elevado hasta 100000 y tenemos noticia de que muy recientemente se ha construído en Rusia, en la fábrica de Obouckoff, uno de 120000 kilogramos.

Los grandes martillos son generalmente de simple efecto, pues lo más sencillo es casi siempre lo mejor. Entre los medianos, aunque generalmente son de simple efecto, hay algunos que marchan á simple ó á doble efecto, otros á doble efecto y los pequeños son por lo común de doble efecto y automáticos.

296. En las figuras 91 y 92 de la lám. XII está representado el martillo de 100 toneladas del Creusot, que es del mismo tipo que otros de mucha menor potencia.

La construcción puede dividirse en dos partes: los *cimientos* ó *infraestructura* y la *superestructura*, que es la parte que se eleva sobre el piso.

Los cimientos se componen de un macizo de mamposte-

ría *A* de un volumen de 600 metros cúbicos, cubierto de un lecho de maderos de encina *B* de un metro próximamente de espesor. Sobre este lecho reposa una *chavota C* de fundición, que es una pirámide cuadrangular truncada de un peso de 622 toneladas; tiene 5^m,60 de altura total, 33 metros cuadrados de superficie en la base mayor y 7 en la menor. La *chavota* está formada por seis tongas horizontales ensambladas entre sí, y formadas cada una de dos partes, escepto la superior, que es una sola pieza de 120 toneladas. En otros martillos la *chavota* es de una sola pieza, la cual, si tiene que ser de mucho peso, suele fundirse en el mismo sitio donde ha de servir definitivamente.

El espacio que queda entre la *chavota* y las paredes de la fosa en que esté colocada, se rellena con maderos de encina, que por su elasticidad atenúan la transmisión de las vibraciones producidas por los golpes del martillo.

La base superior de la *chavota* queda al nivel del piso y sobre ella se coloca el yunque de la forma adecuada al trabajo que haya de efectuarse.

La superestructura se compone de las dos piernas ó *montantes D D* que sostienen el *entablamiento E*. Son huecos, de fundición, empernados por su base á una placa encastrada en la mampostería que rodea á la *chavota* y están además consolidados por cuatro gruesas placas de hierro forjado *F'F*.

La altura de los montantes es de 10^m,25.

El martillo está guiado en su movimiento por las piezas *G G* unidas á los montantes.

Sobre el entablamiento está colocado el cilindro de vapor *H* formado de dos trozos de 3^m cada uno, ensamblados entre sí por medio de mordazas y pernos. El cilindro está cubierto por una caja de aire *I* para evitar los accidentes que pudiera ocasionar la rotura del vástago del martillo.

La masa activa está compuesta: del émbolo, de un vástago *J*, del portamartillo *K* y del martillo *L*, que se une á él á cola de milano, lo cual permite cambiarlo con facilidad.

La distribución se hace por medio de dos válvulas equi-

libradas; una para la admisión y otra para la salida del vapor. Al abrir la primera, el vapor penetrará bajo el émbolo y lo hará ascender: al abrir la segunda, cerrando la primera, el vapor se escapará á la atmósfera impulsado por el peso del martillo, que caerá sobre el yunque; y cerrando en un momento dado las dos á la vez podrá detenerse el martillo á diferentes alturas. Todos estos movimientos los ejecuta fácilmente el obrero colocado sobre la plataforma *M* por medio de las palancas *N*. El diámetro del cilindro es de 1^m,90, de donde resulta una superficie de 27345 centímetros cuadrados, deduciendo la del vástago que es de 36 centímetros; por consiguiente, entrando el vapor con una presión de 5 atmósferas, se ejercerá bajo el pistón un esfuerzo de 140 toneladas próximamente, que es bastante superior á la masa que hay que elevar. El curso del émbolo es de 5^m, y como el peso de la masa activa es de 100000 kilogramos, ésta desarrollará en su caída un trabajo de 500000 kilográmetros. Este trabajo nunca puede ser utilizado en totalidad, pues del curso del martillo hay que deducir el espesor de la pieza colocada sobre el yunque.

297. Laminadores.—En el número **203** hemos dado algunas ideas sobre los laminadores empleados para transformar en barras los tochos procedentes del pudlado. Por medio del empaquetado y conveniente laminado de estas barras, se obtienen hierros de variadísimas formas y dimensiones. Vamos á dar una ligera descripción procurando abarcar todo cuanto sea posible para hacer comprender la disposición general de los diversos laminadores empleados con este objeto.

Los trenes de cilindros pueden clasificarse: en *grandes trenes*, cuyos cilindros tienen de 0^m,35 á 0^m,45 de diámetro, girando con una velocidad comprendida entre 60 y 120 vueltas por minuto, y que se usan para la elaboración de gruesas barras, redondas, planas ó cuadradas y de hierros perfilados de grandes dimensiones; *trenes medianos* compuestos de cilindros de 0^m,25 á 0^m,30 de diámetro, trabajando á razón

de 150 á 160 vueltas por minuto; *pequeños trenes* para la confección de varillas, fleje, alambre y otros hierros de pequeña sección, teniendo sus cilindros $0^m,20$ de diámetro y marchando con velocidad de 250 vueltas por minuto, y *trenes de palastro* compuestos de cilindros de $0^m,55$ á $0^m,63$ si se destina á fabricación de gruesas planchas, y de $0^m,45$ á $0^m,55$ cuando sirven para elaborar palastros medianos ó finos, y cuya velocidad no excede generalmente de cuarenta vueltas por minuto.

298. Un tren de cilindros *forjadores*, se compone de dos ó tres juegos de cilindros y de los aparatos necesarios para ponerlos en movimiento. Cada juego está formado por dos cilindros horizontales superpuestos de modo que sus ejes estén en un mismo plano vertical. Estos cilindros presentan en su superficie, canales ó gargantas de forma y dimensiones arregladas á las del hierro que se quiere elaborar y giran en sentido contrario. En ciertos casos se hace uso de cilindros que cambian el sentido de su movimiento á cada pasada, y en otros se hace uso de juegos compuestos de tres cilindros llamados *tríos*, marchando dos á dos en sentido contrario.

En los cilindros pueden considerarse tres partes principales: la superficie de trabajo, los muñones sobre los cuales ejecutan su movimiento, y las extremidades que sirven para ponerlos en comunicación con el motor ó con el juego de al lado.

299. Los cilindros de cada juego están sostenidos por dos fuertes soportes de hierro colado *A A* (fig. 58, lám. VII), que llevan unos coginetes de bronce en los que se mueven los muñones. Cada soporte lleva un tornillo de hierro *B*, por medio del cual, se asegura la posición relativa de los cilindros. Los dos soportes de cada juego, están fijos á cola de milano á una gran placa de fundición asegurada con pernos á los cimientos, y reunidos entre sí por fuertes barrotos de hierro.

300. Los diferentes juegos de un tren, están situados en una misma línea, y se transmiten de unos á otros el movi-

mimiento recibido de la máquina motora. Con este objeto, las extremidades de los cilindros que sobresalen de cada soporte, tienen su superficie en la forma que indica su sección representada en la figura 93, lám. XII. Los cilindros de dos juegos próximos, se reúnen entre sí por el intermedio de una alargadera de hierro colado de la misma forma, y de dos manguitos *CC* (fig. 58), igualmente de hierro colado, en los que entran las dos extremidades de la alargadera y las de los cilindros. El espesor de estos manguitos está calculado de tal modo, que si hubiese un exceso de resistencia, sean ellos los que se rompan. Los dos manguitos se mantienen en la posición conveniente por medio de varios listones de madera *DD* que se trincan con correas sobre la alargadera.

301. El movimiento de la máquina se transmite á los diferentes juegos de cilindros del tren por medio de otro de piñones *E* montado sobre otros dos soportes *F*, instalados en la misma placa de fundición donde lo están todos los del tren.

El juego de piñones es doble ó triple, es decir, se compone de dos ó tres piñones superpuestos, según que el juego de cilindros que ha de poner en movimiento sea doble ó triple. Cuando es doble, el inferior es el que recibe el movimiento de la máquina y lo transmite al superior, y cuando es triple el movimiento lo recibe el del medio y lo transmite en sentido contrario al superior y al inferior.

Los ejes de los piñones comunican con los del juego próximo por medio de alargaderas y manguitos.

302. La comunicación con el árbol motor se efectúa por medio de alargaderas que, unidas por un manguito *A* (fig. 94, lám. XII) al eje del piñon que recibe el movimiento, puede empalmar ó no con dicho árbol, á cuyo efecto lleva en su extremidad un manguito de escape *B*, que puede conectarse ó desconectarse con el *C* haciendo avanzar en uno ú otro sentido dicha alargadera por medio de la palanca *D*. Con esta disposición puede pararse rápidamente el tren cuando, por ejemplo, un paquete ó barra demasiado grueso ó

frío se detiene y no puede hacérsele avanzar empujándolo ó arrojando arena sobre él, ó cuando el hierro se enrolla alrededor de un cilindro, ó bién cuando se haya roto ó descompuesto alguna pieza del tren ó no haya bastante vapor para hacer marchar la máquina con regularidad.

303. Para que el operario pueda fácilmente introducir la barra en las canales, se coloca á la entrada de los cilindros una fuerte plancha de palastro, de tal modo que su borde quede próximamente al nivel del fondo de dichas canales; y por el lado opuesto, para recibir el hierro é impedir que se enrolle sobre el cilindro inferior, se coloca otra plancha cuyo borde está dentado, presentando unas lengüetas de la misma forma que las canales, en las cuales entran sin rozamiento.

304. Para el forjado de las barras y el laminado de las planchas en los cilindros, se necesita el concurso de mecanismos que ayuden á los operarios en el manejo de masas, generalmente muy considerables. En los hierros de pequeña dimensión le basta al obrero su tenaza para introducir la barra en la canal correspondiente y después volverla á hacer pasar por encima de los cilindros, si se trabaja en *duos*, ó por la canal de los cilindros superiores, si se emplean los *trios*. Cuando el peso del hierro que se está elaborando no permita ya manejarlo de este modo y no sea, sin embargo, muy excesivo, el operario laminador es ayudado en este trabajo por un ayudante que levanta la barra valiéndose de una palanca colgada de una cadena que pende de unos roletes que corren por unos carriles instalados en el techo del taller, con cuya disposición el punto de apoyo se desplaza como sea conveniente. Y finalmente, cuando esto no basta, en el laminado de gruesas planchas, por ejemplo, se hace uso de fuertes tableros movibles de fundición, instalados á uno y otro lado del laminador. Estos tableros son puestos en movimiento por el mismo laminador ó por una máquina especial, y presentan disposiciones muy variadas que sería prolijo describir; pero siempre su manera de funcionar es la siguiente: el

tablero de entrada se presenta á la abertura de los cilindros, sobre él se coloca el paquete ó plancha que se va á laminar y se empuja hacia los cilindros (el arrastre sobre el tablero está facilitado generalmente por varios roletes que lleva éste y que sobresalen un poco de su superficie); la plancha es recibida por el tablero del otro lado, el cual, después que ha pasado por los cilindros, la levanta para volverla á pasar al punto de partida, donde es recogida por el primer tablero, que al efecto se ha levantado en cuanto abandonó la plancha; este tablero vuelve á bajar con ella para volverla á hacer pasar por los cilindros, y así se continúa todo el tiempo que deba durar el laminado.

305. Para que los cilindros no se calienten demasiado, lo cual les haría aumentar de volumen y disminuiría su resistencia, se rocían con agua, á cuyo efecto, de un canal *G* (fig. 58, lám. VII) colocado sobre ellos, se hacen caer varios chorros sobre los muñones. Los cilindros desbastadores no pueden, sin embargo, refrescarse de este modo porque el hierro, al salir del horno, descompondría el agua con explosión y podría ocasionar accidentes. Estos cilindros se refrescan después de haber trabajado.

306. Cuanto más rápido sea el trabajo del laminado, más baratos y mejores serán los productos. Serán más baratos, porque un mismo tren podrá dar abasto á mayor número de hornos de recalentado, y porque se disminuirá el número de caldas; y serán mejores, porque se les podrá dar más pasadas antes de que hayan descendido á la temperatura en que ya han perdido la facultad de soldarse.

En el forjado de hierros de cierto grueso, en los *duos*, las barras tienen que pasarse por encima del cilindro superior cada vez que tienen que atravesar por el laminador, y por consiguiente hacen un viaje sin ser laminadas, durante el cual se enfrían. Para remediar este inconveniente, se recurre á los *tríos* ó á los trenes alternativos.

307. Los *tríos* presentan la ventaja de efectuar el laminado casi en la mitad del tiempo que en los *duos*, pues el

extremo de la barra que acaba de salir de una canal, se introduce inmediatamente en la siguiente para volver al otro lado de los cilindros, y cuando la sección de las barras permite plegarlas con facilidad, puede hacerse pasar por una canal antes de haber acabado de salir de la anterior, como sucede en los trenes de alambre en los cuales el hierro está pasando á la vez por varias canales. Los tríos son, sobre todo, muy convenientes para el soldado de los paquetes, pues durante este período es cuando más falta hace acelerar el trabajo; así es que los juegos de desbaste conviene que estén formados de tres cilindros. Los tríos presentan, sin embargo, varios inconvenientes, siendo uno de los mayores el que acumulan las escorias en el centro de las barras en vez de expulsarlas, pues el último extremo que sale de los cilindros contiene la mayor cantidad de escorias, que vuelven á pasar al medio de la barra al pasarla por los cilindros en sentido contrario. Así es que en el Creusot y otras varias fábricas se ha reconocido que los carriles fabricados en tríos se exfolian más pronto y duran menos que los hechos en *duos*.

308. El mismo efecto que los tríos produce el cambio de movimiento de los cilindros cada vez que pasa por ellos la pieza que se lamina. Este movimiento alternativo se consigue haciendo engranar el tren con ruedas que marchan en uno ú otro sentido, ó bién invirtiendo la admision del vapor en la motora.

El movimiento alternativo presenta las mismas ventajas é inconvenientes que los tríos, pero se emplea especialmente para soldar gruesos paquetes para hierros perfilados y en el laminado de gruesas planchas, porque dispensa del empleo de aparatos elevadores. En cambio necesita de máquinas más poderosas y aparatos de transmisión más resistentes para absorber la fuerza viva á cada cambio de movimiento.

Como ejemplo de mecanismo para cambiar el movimiento de los cilindros, pueden verse las figuras 94 y 95 de la lámina 12. El cilindro de vapor *E*, puesto en actividad en uno ú otro sentido por medio de la palanca distribuidora de va-

por F , puede hacer comunicar, por el intermedio de la travesía G y los dos manguitos H , bién la rueda dentada M del árbol motor con P , ó bién la N con la Q . Las ruedas dentadas P y Q engranan con la R montada en el cilindro inferior, y ésta lo hace á su vez con la S correspondiente al superior.

El mecanismo para conectar en uno ú otro sentido, podría hacerse valiéndose de un pistón hidráulico mejor que con uno de vapor, pues el movimiento sería menos brusco y habría, por lo tanto, menos choque. Estos mecanismos no se emplean, sin embargo, más que para los trenes poderosos; en los trenes ordinarios se hace á mano por medio de una palanca. Este sistema de cambio de movimiento no puede emplearse con cilindros que giren con una velocidad mayor de treinta vueltas por minuto, pues los choques serían muy violentos. Para trenes de mayor velocidad se hace uso de dos máquinas gemelas conjugadas, que concurren á la producción del movimiento por medio de dos bielas inclinadas entre sí 45° . De este modo es fácil el cambio del sentido del movimiento del laminador, invirtiendo la admisión del vapor.

309. El hierro no puede adquirir de una sola vez la forma y dimensiones deseadas; para conseguirlo, es preciso laminarlo varias veces, introduciéndolo en canales cuyas dimensiones y forma vayan decreciendo y modificándose de tal modo que al salir por la última quede completamente terminado sin rebabas, grietas ni ningún otro defecto.

Esta es la mayor dificultad en el trazado de los cilindros forjadores. Naturalmente se procura que la sección de las canales decrezca lo más rápidamente posible, para que el estirado concluya más pronto y pueda hacerse con menos cilindros; pero esto se encuentra subordinado á la naturaleza de los hierros que se han de laminar, á la velocidad y resistencia de los cilindros, á la potencia del motor y á la forma del perfil. Así es que no es posible dar reglas fijas para el trazado de la sección de las canales de los cilindros forjadores; existen algunos métodos empíricos para el trazado de algu-

nas formas muy usuales (1); pero en general es preciso valerse de tanteos, y cuando la práctica ha sancionado un buen trazado, debe conservarse para emplearlo en el estirado de hierros ó aceros de la misma clase. Como ejemplo de un trazado muy generalizado en casi todas las fábricas, hemos representado en tamaño natural en la figura 98 de la lámina XII los diferentes perfiles porque se hace pasar un hierro de ángulo hasta llegar á su forma definitiva.

310. Las canales pueden estar abiertas parte en el cilindro inferior y parte en el superior, como se ve en la figura 58, lám. VII; ó bien están practicadas en uno de los cilindros formando unas matrices que se cierran por resaltes apropiados que lleva el otro cilindro, como representa la figura 99 de la lám. XII. Esta disposición, aunque más dispendiosa que la anterior, tiene la ventaja de impedir el juego lateral de los cilindros y conservar invariable la forma del perfil; así, que conviene usarlas para concluir el estirado.

311. Las canales pueden ser ojivales, planas, cuadradas, ovales, redondas, poligonales ó perfiladas.

Por la clase de trabajo que tienen que efectuar, pueden clasificarse en *soldadoras*, *estiradoras*, *perfiladoras* y *afinadoras*. Generalmente están distribuidas en dos juegos de cilindros, uno llamado de *desbaste* y otro de *afino*. Las soldadoras, que son las dos ó tres primeras del tren, deben comprimir fuertemente el hierro, y para que puedan agarrar bien los paquetes, suelen tener picada la superficie; para estirar y perfilar se hace uso generalmente de las mismas canales, y por último, las afinadoras, que son dos, una de ellas de respeto, ejercen poca presión sobre la barra y deben tener una sección igual á la de ésta aumentada en lo que se ha de contraer por el enfriamiento.

312. Los cilindros *laminadores* propiamente dichos, es

(1) Puede consultarse el *Traité de la fabrication du fer et de l'acier*, por Valerius.]

decir, los que sirven para la fabricación de planchas ó palastros de diferentes gruesos, se diferencian de los *forjadores* en que su superficie es lisa en vez de acanalada, ó más bien en que no tienen más que una sola canal. Los trenes para el laminado de planchas de más de 5 milímetros de grueso tienen un juego de piñones como los de estirado de barras; pero en los que sirven para fabricar planchas más delgadas, únicamente el cilindro inferior recibe el movimiento de la máquina y se lo transmite al superior por rozamiento.

Los cilindros laminadores necesitan separarse más ó menos uno de otro, según el espesor de la plancha que se lamina, y cada vez que pasa ésta es preciso apretar los tornillos que obran sobre los coginetes del cilindro superior. Por consiguiente, cuando acaba de pasar la plancha, el cilindro superior caerá con todo su peso sobre el inferior y podría ocasionarse alguna rotura. Para evitar esto, todos los juegos de cilindros, excepto los afinadores de palastros finos en los cuales los cilindros tienen que separarse muy poco, y por lo tanto el choque es insignificante, llevan contrabalanceado el peso del cilindro superior. En la figura 96 de la lámina XII, está realizado esto por medio de la palanca *m n*. El peso *p* colgado del extremo del brazo mayor, está calculado de manera que la barra *m q* pueda levantar los coginetes del cilindro superior.

313. Las planchas muy gruesas necesitan laminarse por sus cuatro caras lo mismo que las barras. La mejor manera de realizar esto, es por medio de trenes llamados *laminadores universales*, compuestos de cuatro cilindros, dos horizontales y dos verticales, cuya separación puede hacerse variar á voluntad. Las figuras 94, 95, 96 y 97 de la lámina XII, representa el empleado por los hermanos Marrel de Rive de Gier para el laminado de planchas de blindaje. En este laminador hay dos pares de cilindros verticales *V*, porque el movimiento es alternativo, uno á cada lado de los dos cilindros horizontales *T*. Los cuatro reciben su movimiento de rotación por medio de las ruedas dentadas *a, b, c*

y *d*. La *d*, móvil con el cilindro *T*, transmite su movimiento por el engranaje *c* á los engranajes cónicos *b* y *a*. Pueden hacerse avanzar ó retroceder los cilindros verticales por medio de la rueda manívela *e*, del piñon *f*, de las ruedas dentadas *g* y de los tornillos *h*. Los marcos que sirven de guías á los muñones de los cilindros verticales se aseguran con chavetas á los soportes de los horizontales. Los tornillos *h* obran sobre los coginetes de estos muñones. Los cilindros están cubiertos por la parte exterior por los semicilindros *l*, los cuales, además de resguardarlos, aumentan la resistencia del marco. La rueda *b*, por medio de un resalte y una ranura, puede correr á todo lo largo de su eje girando siempre con él. Montada de este modo, una horquilla fija á los coginetes de los muñones la obliga á comunicar el movimiento á los cilindros *V* cualquiera que sea la posición de éstos. Los tornillos por medio de los cuales se arregla la separación de los cilindros horizontales *T*, se mueven valiéndose de las ruedas manivelas *X* y de los engranajes intermedios representados en las figuras 96 y 97.

Los cilindros horizontales tienen 3^m de largo y 1^m de diámetro; su velocidad es de veinte vueltas por minuto; la de los cilindros verticales es mayor, pues la superficial de todos los cilindros debe ser la misma. La fuerza del motor, el cual actúa al mismo tiempo otro gran tren, es de 800 caballos. Como ya hemos dicho, el movimiento es alternativo y el mecanismo para invertirlo lo hemos descrito en el párrafo 308.

314. Hemos visto (297) que los trenes de cilindros tienen diferente diámetro y velocidad según el objeto á que se destinan. Vamos á exponer brevemente la razón de esta diferencia. Cuanto mayor es el diámetro de los cilindros, más grande será la presión que ejerzan sobre el hierro, y por lo tanto, si los cilindros son muy gruesos y los hierros muy delgados, éstos se destrozarian ó aplastarian de tal modo, que sería imposible darles las dimensiones deseadas. Por consiguiente para hierros delgados hace falta emplear cilindros de

poco diámetro; pero cuanto más delgada es una barra más pronto se enfría y es preciso compensar la acción demasiado lenta de los cilindros por una mayor velocidad de éstos. Es decir, que para el estirado de hierros de poca sección, debe hacerse uso de cilindros de poco diámetro girando muy rápidamente, por la misma razón que para trabajar estos hierros en el martillo deben emplearse aparatos ligeros animados de gran velocidad.

Los hierros poco limpios, que hace falta refinar, exigen, por el contrario, el empleo de gruesos cilindros animados de poca velocidad, para que las escorias puedan expulsarse más fácilmente y soldarse entre sí las partículas férricas. Lo mismo sucede para todos los hierros de mucha sección. Un trabajo demasiado precipitado daría hierros menos depurados y rompería las barras ó las agrietaría. Pero sobre todo, los palastros son los que exigen una lenta compresión, y por consiguiente cilindros de mucho diámetro, girando muy lentamente, pues estos hierros se laminan á una temperatura más baja que los otros.

Para la misma cantidad de movimiento hay mucha diferencia también respecto al efecto producido entre una gran masa animada de poca velocidad y una pequeña animada de un movimiento rápido. Los cilindros de poco diámetro estiran más y ensanchan menos el hierro que los de mucho diámetro, y por esta razón también los primeros deben emplearse para fabricar alambre, así como los segundos para laminar planchas.

Descritos los principales aparatos empleados en el trabajo del hierro, vamos á dar una ligera idea de cómo se verifica éste, para lo cual empezaremos por el trabajo efectuado en pequeña escala por el forjador, continuando después por la forja de las gruesas piezas.

315. Trabajo del forjador.—El maestro herrero ó forjador, para trabajar una pieza de forja, es decir, para darla con el martillo en caliente la forma que debe presentar, está auxiliado por uno, dos ó más ayudantes ó *majadores* se-

gún las dimensiones de ella. El maestro sujeta sobre el yunque la pieza con la mano izquierda, bién directamente, bién por medio de tenazas ó de cualquier otro instrumento adecuado y en la derecha tiene un pequeño martillo. Los majadores están provistos de mazas ó mandarrias que manejan con las dos manos.

El martillo del maestro no tiene por único objeto el concurrir al trabajo de la forja, sino que sirve principalmente para transmitir rápidamente sus órdenes á los ayudantes. Al golpear en un sitio de la pieza, éstos saben que en el mismo deben dejar caer sus mazas. Cuando quiere interrumpir ó cesar el trabajo, lo indica por unos cuantos golpes dados sobre el yunque.

316. Cuando el hierro está á una elevada temperatura, se dobla con la mayor facilidad. Para producir este efecto, se coloca el objeto sobre una de las puntas del yunque. Debe tenerse cuidado de no doblar inmediatamente el metal en ángulo recto: se le redondea primero ligeramente, y se le va poco á poco dándole la forma que debe presentar, disminuyendo progresivamente el radio de curvatura, y por último, se acaba la operación sobre uno de los ángulos del yunque.

317. Al martillar el metal se disminuye su espesor en el sentido del choque y aumentan sus otras dos dimensiones. El forjador deberá preveer las modificaciones que el trabajo de la forja introducirá en las dimensiones de la pieza, pues como el metal no se conserva mucho tiempo maleable, perdería el tiempo y se aumentaría el número de caldas necesarias para concluir el trabajo, si tuviera que vacilar durante éste. Así es, que antes de empezar un trabajo nuevo, debe haber calculado todas las circunstancias que han de presentarse, y determinado de antemano las medidas que debe tomar. Cuando trabaja, no debe cuidarse más que de ejecutar rápidamente todas las operaciones que ha decidido, para lo cual necesita una gran habilidad, y sobre todo, un buen golpe de vista.

Hemos dicho que al forjar el metal se disminuye su es-

pesor al propio tiempo que se aumenta en longitud y anchura; por consiguiente, si se forja una barra de hierro sucesivamente sobre dos caras contiguas, se disminuirá su sección y se aumentará su longitud. Operando de este modo, el hierro adquiere nervio y las fibras quedan dirigidas en el sentido de la longitud de la barra.

318. Si, por el contrario, se necesita aumentar la sección de una pieza ó disminuir su longitud entre ciertos puntos, se procede por medio del *recalcado*, operación que consiste en calentar al rojo vivo la parte de la pieza sobre que se quiere operar, y golpear en seguida por una de sus extremidades en sentido normal á la sección. Esta operación debe procurar evitarse siempre que sea posible, porque perjudica á la tenacidad del metal. Las fibras de éste tienden á desunirse, y se comprende, por consiguiente, que debe disminuir su resistencia. Cuando no hay más remedio que hacerla, es conveniente excederse un poco del efecto que se trata de producir para poder después, por medio de algunos golpes perpendiculares á la longitud de la barra, apretar las fibras separadas por el recalcado.

319. La destreza del forjador consiste en conseguir en pocas caldas dar al metal la forma precisa, lo más aproximada posible á la que deba tener la pieza después de terminada completamente. Es muy importante, no solamente bajo el punto de vista de la economía, sino también para la resistencia del objeto, que éste salga de forja con las formas más exactas posibles. Por una parte se consume menos metal, puesto que las dimensiones del objeto se reducen á las precisas. Por otra parte, se disminuye el trabajo de lima, y la mano de obra resultará más barata. Por último, la pieza tendrá más tenacidad, porque, como explicaremos en el artículo siguiente, el martillado (en ciertas condiciones) aumenta la densidad, y por lo tanto la tenacidad del metal. Por consiguiente, no conviene quitar á una pieza de forja las capas superficiales, que son las más densas.

320. El operario, para llegar rápida y rigurosamente á

dar á las piezas que quiere forjar una forma determinada, se ayuda con varios instrumentos, entre los cuales podremos mencionar las *estampas*, los *punzones* y la *tajadera*.

Se da el nombre de *estampas* á unos instrumentos, generalmente de acero *templado*, que presentan en hueco la forma del objeto. Las estampas son, pues, una especie de molde, en el cual se comprime el metal, que está ablandado y ligeramente plástico por efecto de una elevada temperatura. Generalmente se hace uso de dos estampas, una fija al yunque á cola de milano, que forma la mitad inferior del molde; y la otra en la extremidad de un mango, por medio del cual se puede colocar encima del metal, ó bien fija á la cabeza del martillo-pilón, si se estampa en este aparato.

Cuando quiere estamparse una pieza, se empieza por darle en caliente una forma aproximada á la que deba presentar; después, esta pieza, calentada á la temperatura conveniente, se coloca entre las dos estampas. Golpeando sobre la estampa superior por medio de una maza ó un martillo pilón, ó comprimiéndola con una prensa, según las dimensiones del objeto, se fuerza al metal á llenar la cavidad formada por las dos estampas, y por consiguiente reproducirán la forma del objeto que se desea fabricar.

321. El hierro se taladrá generalmente en frío, pues de este modo puede hacerse con más precisión que en caliente y sin riesgo de que el metal se agriete; pero á veces también se hace en caliente valiéndose de *punzones* de formas variables, que adaptados á un mango de madera, se introducen á golpes en el sitio donde se quiere abrir el taladro. El primer punzón que se emplea es generalmente de sección cuadrada; si el taladro debe ser cilíndrico, se continúa la operación con punzones de forma troncocónica, y se termina con un *mandril* completamente cilíndrico, al que se hace atravesar el taladro de parte á parte.

322. La *tajadera* es un instrumento de acero en forma de cuña que sirve para cortar el hierro en caliente. Se maneja con un mango como los punzones.

323. Soldadura.—Para forjar es preciso calentar al rojo más ó menos vivo, según la naturaleza del metal y las circunstancias. Para soldar es necesario calentar el metal á una temperatura más elevada, que para el hierro es el blanco soldante y para el acero algo menor, tanto menos cuanto más duro ó carburado sea.

Para soldar dos barras de hierro, por ejemplo, es preciso calentarlas al blanco soldante, y después de haberlas superpuesto en la posición relativa que quiera dársele, comprimirlas fuertemente una contra otra para determinar su adherencia. Hace falta que las moléculas de las dos barras se compenetren entre sí, de tal manera, que después de efectuada la soldadura no pueda distinguirse la unión. La compresión se ejerce por medio del martillo de mano ó el martillo-pilón, según las dimensiones de la pieza.

Hay que vencer varias dificultades para efectuar bién esta operación, dificultades que son tanto mayores, cuanto más grandes son las dimensiones de las piezas que se quieren soldar.

Cuando se calientan las dos piezas que han de soldarse, las superficies que van á ponerse en contacto se cubren de una capa de óxido, la cual, si quedase aprisionada en la superficie de unión, se opondría á la soldadura de las partes metálicas.

Además, pueden pegarse á las superficies de soldadura varias impurezas procedentes de la fragua ú horno en que se calientan las piezas; impurezas que pueden proceder de la hulla ó de la solera del horno, y que lo mismo que el óxido, pueden dar lugar á soluciones de continuidad ó á la pérdida completa de la soldadura.

El metal, á la elevada temperatura necesaria para que pueda soldarse, presenta una consistencia casi pastosa. Si se le martilla demasiado fuertemente, se aplasta y deforma; si por el contrario, la compresión no es suficiente, quedará sin soldar.

En fin, el metal se conserva muy poco tiempo á la tem-

peratura del blanco soldante y debe por lo tanto operarse con mucha celeridad.

El modo de efectuar la soldadura varía naturalmente con la forma de las piezas; pero en todos casos deben prepararse las partes que van á soldarse de modo que coincidan en toda su extensión y estén dispuestas además del mejor modo posible para que la misma compresión haga escurrir hacia afuera las impurezas que pudieran quedar interpuestas.

Si, por ejemplo, quieren soldarse dos barras por sus extremos, se preparan en forma de bisel las dos partes que deben reunirse. En seguida se disponen en el horno con el plano inclinado hacia abajo, si se calientan en una fragua, para que se le peguen menos impurezas y cuando están á la temperatura conveniente, se sacan, se superponen los dos planos inclinados y colocadas sobre el yunque, se martilla sobre toda la extensión que corresponde á la superficie de unión de las dos barras.

La fuerza con que cae el martillo se descompone en otras dos, una normal á las superficies que han de soldarse, que es la que produce un efecto útil, la otra paralela á la superficie de unión, y que tiende á hacer resbalar una barra sobre otra. Para oponerse á este efecto, los operarios tienen que mantener sujetas las dos barras en su posición relativa. Esta última fuerza es la que expulsa el óxido y las impurezas comprendidas entre las dos superficies.

El metal, como presenta poca consistencia, se aplasta siempre por el choque del martillo, tanto en la parte que soporta directamente el choque como en la que recibe el contragolpe sobre el yunque; por consiguiente el espesor disminuirá en estas partes. Es preciso, pues, si se quiere que la barra conserve su espesor constante, prepararlas con un excedente en el sitio correspondiente á la soldadura.

Debe procurarse que la llama no sea oxidante y colocar además, como hemos dicho, las piezas en el horno, de modo que se conserven lo más limpias posibles; pero nunca puede impedirse por completo la oxidación ni el que las superficies se cubran de impurezas. Estas se quitan sacudiendo y lim-

piando las piezas al salir del horno, y en cuanto al óxido de hierro, se facilita su expulsión escorificándolo. A este efecto, si el metal no está bién depurado de escorias, estas mismas se combinarán con él y escurrirán por la compresión; pero si el metal es limpio, se proyectará sobre la superficie de unión un poco de arcilla ó arena fina, que con el óxido formará un silicato fusible.

324. Soldadura del hierro y del acero.—La soldadura de hierro con hierro ó de acero con acero, no presenta más dificultades que la de preparar bién las superficies de contacto y calentar las piezas hasta la temperatura conveniente; pero la soldadura de hierro con acero, es bastante más difícil, y tanto más cuanto más duro sea éste, pues el acero, siendo más fusible que el hierro, se pone pastoso, y por consiguiente, soldable á una temperatura más baja. Ahora bién; ya sabemos que es preciso evitar el calentar demasiado el acero, porque pierde parte de su carbono, y sus propiedades características se alteran notablemente. Es preciso, pues, para obtener un buén resultado, arreglarse de manera, que cuando se opere la soldadura, el hierro esté más caliente que el acero. La manera de efectuar esto varía según las circunstancias y no pueden darse reglas precisas. El hierro deberá calentarse de antemano á una temperatura tal, que reunido al acero y calentados juntos, lleguen al mismo tiempo cada uno á la temperatura conveniente para soldarse, ó bién, si la disposición de las piezas que quieran soldarse lo permite, se hará de manera que únicamente el hierro reciba directamente la acción del fuego y el acero se caliente sólo por conductividad.

En algunos casos puede soldarse el acero al hierro, calentando este último al blanco soldante, espolvoreando la superficie con un fundente, como el bórax, por ejemplo, echando sobre ella el acero fundido, y cuando éste se ha enfriado lo suficiente para ser forjado, batiendo con el martillo ó estirando en el laminador los dos metales, que de este modo quedarán perfectamente unidos.

325. Forja de gruesas piezas.—Ya hemos visto que exceptuando los bloks obtenidos en los hornos rotatorios, los tochos procedentes del pudlado ó de las forjas, no suelen exceder de unos 50 kilogramos. Por consiguiente, es necesario, cuando quieran fabricarse piezas de mayor peso, recoger los productos de varias operaciones y soldarlos unos á otros hasta formar una masa de las dimensiones convenientes. Esta operación se ejecuta por medio del *empaquetado*, de que ya hemos hablado (**205**) como medio de refinar el hierro bruto, reuniendo un cierto número de barras planas, preparadas al efecto, en un solo haz ó paquete y soldándolas entre sí.

No es fácil dar reglas generales para la confección de los paquetes por la mucha variedad de casos que pueden ocurrir; lo único que puede decirse es que deben escogerse los hierros que los formen y disponerlos de manera que el producto resulte al más bajo precio posible y con las calidades apetecidas; que tengan la forma y dimensiones convenientes para que puedan sufrir el batido necesario en el martillo ó el suficiente estirado en el laminador para que el hierro salga de buena calidad; que estén bien apretados y compactos para que la soldadura de sus diferentes partes pueda ser perfecta, y que su peso esté calculado de manera que no falte materia para la fabricación de la pieza que se trate de obtener, ni sobren tampoco demasiados retales.

326. Los paquetes son generalmente de sección rectangular ó cuadrada, haciéndose uso de los primeros en la fabricación de planchas y palastros, y de los segundos para la de carriles y otros hierros cuyo perfil no sea muy acentuado; pero cuando no sea así, por ejemplo, en la fabricación de hierros de T ó I de grandes dimensiones, se construyen los paquetes con una sección de forma aproximada á la de la pieza que va á construirse, con objeto de disminuir la presión en las primeras acanaladuras de los cilindros y acelerar la fabricación.

En la confección de los paquetes puede hacerse uso de

hierros de diversas calidades, colocando los mejores al exterior formando unas cubiertas, que pueden estar rellenas de hierro bruto, de retales y hasta de hierro no susceptible de forjarse solo, como le sucede al hierro sulfuroso.

327. Según Valerius, deben observarse en el empaquetado de los hierros las reglas siguientes:

1.º Es preciso que las barras de hierro bruto sean planas más bién que cuadradas, tanto para reducir el número de juntas en la anchura, juntas que presentan obstáculos á la soldadura, como para mezclar mejor entre sí las diversas calidades de hierro por la multiplicación de los puntos de contacto.

2.º Las barras empleadas deben estar bién enderezadas y tener sus caras lo más limpias posible de óxido y cuerpos extraños, á fin de que puedan aplicarse exactamente unas á otras y se efectúen las soldaduras sin solución de continuidad.

3.º Las barras deben ser, mientras sea posible, de una sola pieza, pues las soldaduras á tope se efectúan mal.

4.º Las barras se cortarán exactamente á la misma longitud á fin de que las extremidades de los paquetes resulten bién planas y rellenas.

5.º En los paquetes cuyas dimensiones no permiten el que sean formados por barras de toda su longitud, se disponen éstas como los ladrillos para formar un muro, es decir, de modo que las juntas de las barras de una tonga sean cubiertas por las barras de la tonga inmediata, con lo cual resultan mejores soldaduras.

6.º Para ciertas fabricaciones, y en general siempre que el paquete es muy pesado, se aprieta fuertemente, ya una parte de las barras ó bién el paquete entero, por medio de sunchos de hierro colocados en caliente ó con un haz de alambre retorcido, lo cual facilita el manejo de la pieza é impide que se desarreglen las barras. Ordinariamente se quitan estas ligaduras antes de pasar el paquete por el laminador.

328. Aparte del empaquetado, el trabajo de forja de

las piezas de grandes dimensiones es igual al de las pequeñas, diferenciándose únicamente en que es preciso hacer uso de aparatos más poderosos, pues naturalmente se comprende que un arbol de hélice ó una plancha de blindaje no pueden forjarse sobre un yunque con martillo de mano, ni pueden recibir las caldas en una simple fragua, sino que necesitan el empleo de potentes martillos de vapor ó poderosos laminadores, el ser manejados por gruas hidráulicas ó de vapor y recibir las caldas necesarias en hornos de caldeo, como los que llevamos descritos.

La gran dificultad que presenta la forja de gruesas piezas es la de poder calentar el metal con igualdad en toda su masa para evitar un estirado desigual. Cuando se somete á la acción del martillo, de la prensa ó del laminador una pieza metálica en que todas sus partes no se encuentran sensiblemente á la misma temperatura, el estirado se hace irregularmente; las partes más calientes se alargan más que las otras, de suerte que en ciertas partes de la masa las moléculas se separan.

Como para soldar los diferentes elementos de un paquete es preciso calentarlo hasta el blanco soldante, si éste es de grandes dimensiones será muy difícil calentar el interior al grado conveniente sin exponerse á quemar las partes superficiales. Por esta causa las gruesas piezas suelen presentar casi siempre defectos de soldadura en su interior. Además, en estas gruesas piezas no pueden expulsarse bien las escorias, que quedan aprisionadas en ellas perjudicando á su resistencia. Bajo este concepto, el procedimiento de Bessemer ó el de Martín Siemens presentan una gran ventaja sobre el del empaquetado para la obtención de grandes piezas, porque el metal, habiéndose obtenido en estado fluido, las partes centrales están tan calientes como las superficiales y contienen muchas menos escorias.

En todas las grandes piezas de forja, la parte central presenta siempre menos tenacidad que las superficiales, porque enfriándose lentamente, toma una textura cristalina que es

perjudicial á la resistencia del metal. Para atenuar este defecto, deben templarse estas piezas, después de haberlas recocido para dar uniformidad al grano.

Vamos á bosquejar algunas de las transformaciones más usuales del hierro, con lo cual se ampliarán algo las ideas que estamos dando del trabajo de este metal.

329. Fabricación del palastro.—Las *chapas* de hierro ó *palastros* se clasifican, según su espesor, en *gruesas*, *medianas* y *finas*; las primeras tienen más de 6 milímetros de grueso; las segundas de 3 á 6 milímetros, y las terceras menos de 3 milímetros.

Todos los hierros que se trabajan bién en caliente y no son quebradizos en frío, pueden servir para la fabricación del palastro. Para los gruesos y medianos, que deban ser muy resistentes, convienen sobre todo los hierros fuertes y el acero; pero para los palastros finos, es preciso emplear hierros más dulces y maleables, haciéndose generalmente uso de los afinados con carbón vegetal. Sin embargo, con buenos materiales y una esmerada fabricación, pueden obtenerse palastros finos con hierros duros y aun con acero. Nosotros poseemos un ejemplar de acero dulce, procedente de la fábrica de Krup, de dos centésimas de milímetro de espesor. La fabricación del palastro se efectúa casi exclusivamente por medio de los laminadores ya descritos en el párrafo **312**.

Los detalles de fabricación varían con la naturaleza del metal y con las dimensiones de las planchas. Vamos á indicar brevemente la de los gruesos y finos.

330. Palastros gruesos.—Se empieza por formar paquetes compuestos de barras de hierro bruto, fuertemente sujetos en los extremos por medio de muchos alambres y cuyo peso sea igual al de la plancha que se trate de obtener aumentado con el que se calcule por las mermas que resultarán en las diferentes caldas que se le han de dar y por el de los retales que provengan del recorte de los bordes de la plancha. Estos paquetes se calientan en un horno hasta el

blanco soldante y se sueldan en el martillo, batiéndolos seguidamente por todas sus caras, hasta obtener un bloc bién regular y homogéneo. Cuando no es suficiente un bloc para obtener la plancha que se desea, se sueldan dos ó tres, tomando todas las precauciones posibles para que su unión sea perfecta.

Al salir del martillo, vuelven los blocs al horno de recalentar, donde se eleva nuevamente su temperatura al blanco soldante. En este estado, se les pasa por los cilindros desbastadores, donde se les estira á una longitud igual á la anchura que ha de tener la plancha y se les vuelve á introducir en el horno de recalentar, que en este caso deberá ser uno de solera (284) en razón á las dimensiones que ya habrán tomado.

Después que está á una temperatura suficientemente elevada se presenta á los cilindros afinadores, por los que se pasa varias veces, apretando un poco á cada pasada los tornillos que sirven para aproximar los cilindros. Cuando no puede terminarse la chapa en una sola calda, se la vuelve á calentar y se lamina hasta que adquiera las dimensiones requeridas.

331. *Palastros finos.*—Si estos palastros se fabrican con hierro pudlado, es preciso que éste sea de muy buena calidad. Con las barras de hierro bruto se forman paquetes, que se sueldan en el laminador ó mejor en el martillo, estirándolos en barras de sección rectangular, cuyas dimensiones se calculan de manera que estiradas al ancho puedan dar toda la longitud de la chapa. Estas barras se cortan en trozos, de longitud igual á la anchura de la chapa, los cuales, después de calentados al blanco soldante, se presentan á los cilindros desbastadores en el sentido de su longitud, de modo que puedan laminarse en un sentido perpendicular á ella. De cada trozo se saca de este modo una chapa ó *pletina*, que puede laminarse sola si su espesor ha de ser superior á 1^m,5 pero que debe asociarse á otras cuando su grueso deba ser menor. En los cilindros desbastadores puede conti-

nuarse el laminado hasta que la pletina tenga un espesor de 0^m,010 á 0^m,012. Cuando ha adquirido este grueso se pasa á los cilindros afinadores, donde se la reduce á un espesor de 0^m,0015.

Después se superponen un cierto número de estas pletinas, tantas más, cuanto más fina ha de ser la chapa, y se calientan en un horno de solera á la temperatura del rojo blanco, teniendo cuidado que no lleguen al blanco soldante para que no puedan soldarse entre sí por la acción del laminador. Se laminan en los cilindros afinadores y se les da el número de calentones necesarios y á la temperatura conveniente para que el trabajo concluya cuando hayan perdido la temperatura luminosa.

Como el trabajo del palastro se termina á una baja temperatura, el metal se vuelve agrio, porque las moléculas se separan de su posición normal. Se le restituye sus buenas cualidades por medio del *recocido*; es decir, calentándolo á una temperatura en que las moléculas tengan una cierta movilidad, y dejándolo enfriar lentamente para que puedan colocarse en sus posiciones respectivas.

Los palastros gruesos y medianos pueden recocerse calentándolos á una temperatura inferior al rojo cereza en un horno de recalentar, y dejándolos enfriar cuando han adquirido esta temperatura. Pero los palastros finos necesitan precaverse más de la oxidación, y con este objeto se les recuece encerrándolos en cajas de fundición, las cuales, después de enlodadas sus juntas, se calientan en un horno á la temperatura del rojo, después de lo cual se las deja enfriar lentamente.

Para dejar terminadas las chapas de hierro, se las aplana golpeándolas con mazos cuando están todavía calientes, y los bordes, que siempre son defectuosos, se recortan en una tijera.

332. Planchas de blindaje.—Las planchas de blindaje se forjan por medio del martillo ó del laminador. El primer medio, como más enérgico, da un metal más homo-

géneo y limpio de escorias, y por lo tanto más resistente; pero es más dispendioso y difícil de obtener con él superficies tan regulares como se obtienen por medio del laminador, y por esta razón hoy no se fabrican en ninguna parte, que sepamos, las planchas de blindaje por la forja, en el martillo, del hierro en paquetes, empleándose únicamente este sistema para las elaboradas con acero dulce ó hierro homogéneo obtenido por fusión.

Las planchas de blindaje fabricadas por medio del laminador, se componen generalmente de dos *cubiertas*, una sobre cada cara, y de una parte interior ó *ánima* comprendida entre ellas. Estas diversas partes se fabrican por separado, y después se superponen, sueldan y estiran al grado conveniente.

Cada cubierta se fabrica como una plancha gruesa de palastro; solamente que la fabricación exige aparatos mucho más potentes. Los más comunmente empleados son los laminadores universales (313), que tienen la ventaja sobre los ordinarios de hacer que los bordes laterales de la plancha salgan ya terminados y no haya, por consiguiente, necesidad de recortarlos, para cuya operación es preciso emplear máquinas recortadoras de gran potencia, que gastan mucha fuerza y mucho tiempo.

A las planchas, después de laminadas, se les da la curvatura necesaria para que puedan adaptarse al costado del barco por medio del martillo-pilón, ó de una prensa.

Finalmente, se templen en aceite para destruir las gruesas cristalizaciones producidas durante la forja.

El hierro forjado no es tan duro como el acero y el hierro colado, y por lo tanto presenta ménos resistencia á la penetración de los proyectiles; pero estos dos últimos metales son, en cambio, mucho más frágiles que el primero, por cuya razón no pueden emplearse para blindajes. Con objeto de aprovechar las buenas cualidades del hierro y del acero, atenuando sus inconvenientes, se idearon hace pocos años en Inglaterra unas planchas de blindaje llamadas *compound*

(mixtas), compuestas de una plancha de hierro, revestida en su cara exterior por una capa de acero. Hay dos sistemas: el de Cammell y el de Brown.

En el sistema de Cammell se echa el acero fundido sobre la plancha de hierro y el conjunto se lamina hasta que el espesor se reduzca á las dos terceras partes.

La plancha de Brown difiere de la precedente en que encima de la capa de acero fundido sobre la plancha de hierro, como en el sistema de Cammell, se encuentra una capa de acero laminado de antemano. El espesor de acero es un tercio del total de la plancha en los dos sistemas.

333. Piezas construidas con barras arrolladas en espiral.—Ciertos objetos de forma cilíndrica, cuya máxima resistencia debe presentarse en el sentido tangencial, no deben construirse con paquetes de forma prismática, sino arrollando sobre un mandril una barra de la longitud y sección convenientes y soldando después entre sí las diferentes espiras. De este modo las superficies soldadas coincidirán sensiblemente con las secciones rectas del cilindro y éste se encontrará en muy buenas condiciones para resistir presiones perpendiculares al eje. Este es el sistema empleado en la fabricación de sunchos y tubos de hierro ó acero pudlado para piezas de artillería y de llantas para ruedas de locomotoras y carruajes de caminos de hierro.

Para formar las barras se construyen paquetes con hierros ó aceros de la calidad requerida, y se estiran en los cilindros de modo que las barras resultantes tengan una sección trapezoidal, calculada de tal modo que por la extensión que tiene que sufrir la superficie exterior de la barra al ser arrollada y por la compresión de la interior venga á resultar de sección rectangular.

334. Las figuras 100, 101 y 102 de la lám. XIII representan un aparato para arrollar las barras. El movimiento es transmitido por el árbol *a* (fig. 100), terminado en el piñon *p*, que pone en movimiento el engranaje cónico *e*, el cual lleva en su eje otro piñon *p'* que engrana con la rue-

da *r*. El eje de ésta lleva en la parte superior una virola *b* (fig. 100), sobre la que debe arrollarse la barra. La virola se apoya sobre la plancha *t* y se sujeta por arriba con la chaveta *c*.

La plancha *t* está llena de agujeros colocados á diferentes distancias del eje, según el grueso de la barra. Determinado éste, se pasa un clavo en el agujero correspondiente y entre este clavo y la virola *b* se introduce el extremo de la barra, la cual, encontrándose todavía al calor rojo, se arrollará sobre la virola arrastrada por el movimiento de ésta, superponiéndose unas espiras á otras, como indica la figura en *b'*. Es preciso poder ir levantando la barra mientras se va arrollando, y con este objeto se hace pasar por la abertura *o* del aparato *B* (fig. 102), y un operario la va dejando elevarse lo necesario valiéndose de la palanca *l*. Además, para que las espiras se adapten bién sobre la virola, es preciso comprimir las lateralmente, lo cual se consigue por medio del cilindro *g* móvil alrededor de su eje, cuyo cilindro es susceptible de moverse horizontalmente. Este movimiento se consigue por medio del volante *v*, que por el intermedio de los engranajes *z* hace avanzar ó retroceder los brazos *y y* que sostienen el eje *u* del cilindro *g*.

A falta de este aparato ú otro análogo pueden arrollarse las barras sobre un mandril asegurado al extremo del eje de un cilindro laminador, por ejemplo.

335. Si los rollos se destinan á llantas de ruedas se forjan con el martillo-pilón en una calda soldante y después se laminan en un aparato especial.

336. Si han de servir para sunchos de piezas de artillería se les hace sufrir varias operaciones, que daremos á conocer en pocas palabras, poniendo como ejemplo el método seguido en el Creusot para la fabricación de los manguitos y sunchos de muñones de los cañones de 12 y 9 centímetros (sistema Gonzalez Hontoria) fabricados en dicho establecimiento.

337. La mitad de cada manguito se forma soldando en tre sí dos rollos.

Para efectuar esta operación se les da primero una calda con el único objeto de cortar en bisel los extremos de las barras de los dos rollos que se trata de soldar. Hecho esto, se reúnen en la disposición que indica la figura 103, lám. XIII, y se introducen en un horno de reverbero, cuya parrilla se carga con un exceso de combustible para que la llama sea lo menos oxidante posible. Cuando han adquirido la temperatura del blanco soldante, se llevan á un martillo-pilón cuyo yunque está sustituido por la matriz cilíndrica *A* (fig. 104, lám. XIII) en la que ajusta la parte cilíndrica *B* de la cabeza del martillo. Esta termina por una parte troncocónica *C*, que en unión de otra *D*, colocada en el fondo del yunque, forma el alma de la matriz. En esta matriz se estampa el suncho hasta que por su aumento de espesor se agarre á la parte *C* y salga de ella al levantar el martillo. Estando suspendido, se atraviesan unas barras sobre el yunque, para que pueda apoyarse en ellas el suncho, el cual se hace desprender del martillo. En esta disposición se introduce una tajadera cilíndrica, que merced á unos cuantos golpes cortará una rebaba que se habrá formado en el interior del suncho, y hará desprenderse el mandril *D*, que suele salir adherido á él.

El suncho se vuelve á introducir en el horno y se le estampa otras dos veces á la misma temperatura.

Para soldar las dos mitades de cada manguito, se repasan al torno los dos bordes que han de estar en contacto y cada una de estas dos partes se coloca apoyada por la parte torneada sobre una fragua como la representada en la figura 105, lám. XIII. Esta fragua es de sección circular y está alimentada por seis toberas *a* que reciben el viento de un conducto *b* que las rodea, el cual está en comunicación con el portaviento *c*. El interior de la fragua está brascado y se emplea el cok como combustible.

Para efectuar la soldadura, cuando se ha llegado á la temperatura conveniente, se introduce una de las mitades en un alojamiento cilíndrico que tiene el yunque; encima se

coloca la otra mitad y se golpea sobre ella. El martillo tiene también un alojamiento para recibir la mitad superior. La figura 106 representa el manguito en el acto de soldar sus dos mitades. Las rebabas interiores *a* se cortan con un mandril que se introduce á golpes de martillo y las exteriores *b* se dejan á medio cortar con una tajadera para después acabarlas de romper en frío y poder juzgar de la calidad del metal por el examen de la fractura.

Después de forjados los manguitos, se recuecen al rojo cereza y luégo se templen en agua al rojo sombrío. Con esto quedan ya en disposición de ser torneados para ajustarlos á sus dimensiones definitivas.

338. Los sunchos de muñones se estampan primeramente en una matriz (fig. 107, lám. XIII) para acumular la materia hacia el sitio en que deben estar los muñones; operación que tiene que efectuarse en cuatro caldas.

Para terminar el suncho, se le estampa en otra matriz (fig. 108, lám. XIII) donde se le dan cinco ó seis caldas al anaranjado claro. A la tercera calda se le cortan las rebabas exteriores con una tajadera y las interiores introduciendo á golpes del martillo un cilindro hueco de fundición.

339. Fabricación del alambre.—Esta fabricación reclama un hierro muy dúctil, es decir, muy maleable y muy tenaz á la vez; por consiguiente más bién duro que dulce. Es preciso además que este hierro se trabaje fácilmente á una elevada temperatura, á fin de poderlo reducir al menor grueso posible por un trabajo en caliente, que es mucho más rápido y, por lo tanto, mucho más económico que el trabajo en frío. Las mejores clases de alambre se fabrican siempre con hierros al carbón vegetal.

340. El trabajo comprende siempre dos operaciones distintas: un estirado en caliente y un estirado en frío.

El hierro se estira desde luego en caliente, en cilindros laminadores, haciéndole pasar por acanaladuras de sección cada vez menor, siendo siempre la última de sección circular. Pero llega un momento en que el estirado en caliente

no puede continuarse ya, por que el metal, calentado al rojo y teniendo muy poco grueso, no podría resistir al esfuerzo que produce el laminado y se rompería infaliblemente. En general, no puede obtenerse por el estirado en caliente un grueso menor de 4 milímetros. Cuando quiera obtenerse alambre más fino, es preciso recurrir al estirado en frío por medio de la *hilera*.

341. La *hilera* es una placa de acero templado muy duro llena de agujeros de diámetro decreciente. Los agujeros son cónicos de un ángulo muy agudo á fin de que la compresión del metal no sea muy exagerada y por esta misma razón sus diámetros no deben decrecer muy rápidamente.

342. Antes de pasar el alambre por la *hilera*, es preciso limpiar su superficie del óxido que la recubre, porque al desprenderse este óxido durante el estirado, corroería los bordes de los agujeros, é interponiéndose entre éstos y el alambre, ocasionaría en éste rayas longitudinales.

La limpia del alambre se efectúa sumergiéndolo en agua acidulada con un medio por ciento de ácido sulfúrico. Después se introduce en agua caliente, luégo en una lechada de cal para neutralizar el ácido que pueda haber quedado, y finalmente se lava en agua corriente.

343. Después de seco el alambre se procede al estirado. Para esto se coloca en una devanadera, y uno de sus extremos, que de antemano se ha afilado en punta, se presenta al agujero de la *hilera* que sigue inmediatamente á aquél, por el cual puede pasar sin mucha dificultad. Con unas tenazas se le fuerza á pasar lo suficiente para que pueda ser cogido por unas pinzas adaptadas á un tambor troncocónico, que recibe un movimiento de rotación alrededor de su eje, con lo cual no sólo obligará al alambre á pasar por la *hilera*, sino que lo hará arrollarse sobre él. Después de esta primera pasada, se le da otra por el agujero siguiente, y se continúa haciéndole pasar por agujeros cada vez más chicos hasta conseguir el grueso deseado.

344. Para disminuir el frotamiento, y por consiguiente

facilitar el trabajo, se engrasa el alambre con sebo ó mantequilla, ó mejor aún, se coloca en cada agujero de la hilera un pelote de grasa á través del cual pasa el alambre que se trata de estirar; por este medio se enfría el agujero, al propio tiempo que se facilita el paso del alambre.

345. Por el trabajo de la hilera, el alambre aumenta en elasticidad y dureza; pero al propio tiempo se agria y resulta quebradizo. Para corregir este defecto, debe recocerse al rojo sombrío después de un cierto número de pases.

El recocido se efectúa ordinariamente en calderas de fundición herméticamente cerradas, que se calientan en hornos á propósito.

Hay que tener mucho cuidado de impedir la comunicación del aire exterior, con cuyo objeto deberán rellenarse con polvo de carbón todos los intersticios que queden entre los alambres en el interior de la caldera, y después de tapada ésta, enlodar perfectamente con arcilla los bordes de la tapa.

Cada calda suele durar de cinco á seis horas, después de lo cual se deja enfriar la caldera dentro del horno durante seis ó siete horas y unas tres fuera de él.

Art. 3.^o—Trabajo del acero.

346. Defectos del acero fundido.—Podría creerse que, obteniéndose el hierro y el acero en estado líquido, sería fácil producir con estos metales objetos moldeados, compactos y resistentes, en analogía á lo que sucede con el hierro colado. Pero no es así; si se examina el interior de un lingote de acero fundido, se verá, que en vez de una masa compacta, está lleno de una porción de cavidades, generalmente de forma redondeada, como si estuvieran producidas por burbujas de gas, que hubieran quedado aprisionadas en la masa metálica.

Cerca de la superficie lateral estas cavidades son muy numerosas, de manera que el lingote parece como envuelto

por una costra esponjosa. En muchos casos la capa superficial no presenta burbujas, y en su lugar el metal aparece bajo la forma de agujas normales á la superficie y constituidas por una aglomeración de prismas irregulares.

En la parte superior del lingote se forma casi siempre un gran vacío, generalmente en forma de embudo irregular, que penetra profundamente según el eje del lingote. Las paredes de este hueco se encuentran tapizadas de cristales aglomerados que forman una masa poco compacta, cuyo estado esponjoso va disminuyendo desde el eje hasta la superficie, concluyendo por ser imperceptible. De manera que entre la costra superficial y el centro poroso hay un cierto espesor de metal que presenta la estructura compacta.

Estas cavidades se encuentran llenas de gases, en su mayor parte óxido de carbono, cuya presencia se explica de diferentes maneras.

Pueden provenir de los desarrollados en el horno durante el afino, que se han mezclado ó disueltos en el acero, y del cual han tratado de separarse al pasar éste al estado sólido.

Pueden haberse engendrado en el seno mismo de la masa fundida, por la reacción entre el oxígeno de algunos óxidos disueltos en el metal y el carbono que el mismo contiene.

Y por último, pueden resultar de los gases adheridos á las paredes de la lingotera y del aire arrastrado por el chorro de metal líquido al ser vertido en ella.

Es muy posible que en el fenómeno concorra el efecto simultáneo de todas estas causas. Así podrá explicarse el por qué mientras en muchos de estos huecos ó ampollas se encuentra el metal de la superficie perfectamente limpio, en otros se halla oxidado. El primer caso ocurrirá cuando el gas que los llene sea el óxido de carbono, y el segundo cuando lo sea el ácido carbónico ó el aire, que no han podido combinarse con la suficiente cantidad de carbono para prevenir su acción oxidante sobre el hierro.

El embudo es producido por el enfriamiento del lingote, que se verifica de la superficie al centro.

347. Procedimientos que pueden seguirse para combatir los defectos del acero fundido.—

Para remediar los defectos que hemos manifestado tiene el acero fundido, pueden emplearse tres métodos diferentes.

1.º Colar un lingote bruto de forma sencilla, el cual se forja valiéndose de poderosos medios mecánicos, de tal modo que su sección se reduzca lo más posible.

2.º Someter el acero dentro del molde á una fuerte presión hasta que se solidifique; y

3.º Impidiendo por medio de reacciones químicas el desarrollo de gases en el interior de la masa metálica.

348. Forja de los lingotes de acero, considerada como medio de corregir su estado ampolloso.—Si por medio de una compresión enérgica se reducen las dimensiones laterales y se aumentan las longitudinales del lingote, las paredes de las cavidades interiores se pondrán en contacto, y aquellas que no estén oxidadas se soldarán, si la temperatura es la conveniente, desapareciendo por lo tanto dicho defecto. Las que estén oxidadas no se soldarán; pero podrán adelgazarse y estirarse en sentido del eje hasta el punto de quedar casi imperceptibles, y en general no perjudicarán á la resistencia de la pieza fabricada. Esto respecto á las cavidades del interior del lingote, pues en cuanto á la costra esponjosa podrá adelgazarse lo suficiente para que desaparezca en el desbaste de la pieza por medio del torno ó del cepillo.

El embudo, teniendo dimensiones muy considerables, no puede hacerse desaparecer por medio de la forja, y la parte superior que lo contiene, que viene á ser un cuarto ó un tercio del peso del lingote, no puede utilizarse.

Por consiguiente, la cuestión está reducida á forjar las tres cuartas partes restantes del lingote por medio del martillo-pilón, que para los lingotes destinados á piezas de artillería ó planchas de blindaje debe ser de un peso muy considerable. La parte correspondiente al embudo suele forjarse

también; pero únicamente con objeto de estirarlo, formando una barra para manejar con más facilidad el lingote durante su trabajo.

La sección del lingote debe ser por lo menos tres ó cuatro veces mayor que la que ha de tener la pieza que se trata de obtener, siendo el resultado tanto mejor cuanto mayor sea esta relación.

La forja de los lingotes no se efectúa únicamente por medio del martillo. En la fabricación de ciertos objetos, como por ejemplo, las llantas para ruedas de ferrocarril, se prepara primero la pieza con el martillo y se termina luego con el laminador; y en la de palastros, carriles ú otros objetos análogos, se ejecuta todo el trabajo con sólo los cilindros laminadores. En estos casos, como el estirado es muy considerable, se anulan casi por completo los defectos arriba mencionados, y perjudican mucho menos á la resistencia de la pieza que los defectos de soldadura que siempre existen en las obtenidas por medio del empaquetado. Esta es la razón de que los objetos fabricados con acero ó hierros fundidos, sean de mejor calidad que los elaborados con paquetes formados de hierros de igual composición.

349. *Compresión del acero fundido.*— Comprimiendo fuertemente el metal mientras se encuentra todavía en estado líquido, podrá conseguirse que la mayor parte de los gases que contiene queden en disolución en él, y que el resto sea expulsado á través de las paredes de la lingotera. De este modo no habrá cavidades, y el lingote fundido será perfectamente compacto.

El medio más sencillo para obtener este resultado, consiste en colocar un pistón hermético sobre la superficie del acero líquido, y ejercer una presión sobre él, valiéndose de una poderosa prensa hidráulica.

Para operar según este procedimiento, se recubre el interior de la lingotera de un revestimiento refractario y mal conductor para retardar el enfriamiento del metal. Se introduce el pistón después de la colada, y se le mantiene en pre-

sión hasta que la costra exterior del lingote haya tenido tiempo de formarse por todas partes, pues en este estado, estando ya interceptada la salida de los gases, no podrán formarse las burbujas. Para que el pistón pueda evitar no sólo la formación de las burbujas, sino también la del embudo, es preciso que la prensa sea muy poderosa, y con este objeto *Whithworth*, emplea prensas de una potencia que varía desde 2000 hasta 8000 toneladas. Con estas prensas se pueden ejercer sobre la superficie de los lingotes presiones de 900 á 1000 kilogramos por cm^2 y hasta de más de 3000 kilogramos por cm^2 en los lingotes de pequeñas dimensiones.

Las lingoteras tienen que poder resistir á un esfuerzo tan considerable. Se componen de un cilindro de acero bastante fuerte para resistir á los esfuerzos de la presión. En este cilindro está colocado otro, formado de barras de fundición dispuestas verticalmente. Estas barras, de 5 á 6 centímetros de espesor, están llenas de agujeros que comunican con estrías practicadas en su superficie exterior, para permitir el escape de los gases. La lingotera está revestida interiormente de un apisonado refractario suficientemente poroso.

Este procedimiento no permite la fabricación de objetos de formas variadas, y por consiguiente los lingotes necesitan forjarse. Por lo tanto, su única ventaja consiste en la economía del metal, pues no existiendo ni el embudo, ni la parte esponjosa, no hay necesidad de separar ninguna parte inútil. En cambio de esta ventaja, tiene el inconveniente de exigir un material muy costoso, tal vez por lo cual su uso se ha extendido muy poco.

350. La compresión sobre el metal líquido puede efectuarse por otro método ideado por M. Comideré, en Francia, y por Mr. H. R. Jones, en América. Este método consiste simplemente en dotar á la lingotera de una tapa, á la que se adapta un tubo flexible que comunica con un generador de vapor de alta presión. En cuanto se llena la lingotera, se coloca encima la tapa y, después de asegurarla perfectamente

con mordazas ó tuercas, se da entrada al vapor, el cual comprimirá la superficie del metal hasta su completa solidificación.

351. *Métodos químicos para obtener acero fundido compacto.*—Hace más de veinticinco años que la fábrica del Bochum, en Westfalia, goza en Alemania de una merecida reputación por sus campanas de acero fundido. Dicha fábrica obtiene también por moldeo directo otra multitud de objetos de acero, tales como ruedas de locomotoras y vagones, empalmes y otras varias piezas del material de ferrocarriles, cilindros de vapor y de prensa hidráulica, engranajes, etc.

Todos estos objetos son fundidos en moldes de arena con acero de crisol, hasta hace algunos años, y hoy día con acero de Bessemer.

El metal no presenta cavidades en su interior, es bastante duro, y el análisis ha descubierto que contiene de 0,3 á 0,4 de silicio. Este silicio parece provenir de la adición, antes de la colada, de una cierta cantidad de fundición especular (*spiegel-eissen*).

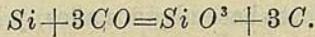
Igualmente en la fábrica de Terrenoire se ha conseguido obtener objetos de acero fundido compacto de mejor calidad que los de Bochum, por el empleo de una aleación especial compuesta de silicio, hierro y manganeso.

352. El Sr. H. Bessemer, extrayendo los gases de un lingote enrojecido y analizándolos, ha encontrado que el óxido de carbono era el gas que se encontraba en mayores proporciones. Partiendo, pues, de la hipótesis de que este gas es el que ocasiona el estado ampolloso del acero, vamos á explicar cómo se le hace desaparecer por los procedimientos de Bochum y Terrenoire.

Siendo el silicio mucho más oxidable que el carbono, no se formará óxido de carbono mientras exista silicio en el baño metálico, pudiendo comprobarse durante el afino de un hierro en el horno de Martín Siemens ó en el de Pernot, que el metal es perfectamente compacto y que no resulta ampo-

lloso hasta que ha desaparecido el silicio. Pero, como por esta misma razón, el afino no puede empezar hasta que se ha quemado la mayor parte del silicio, no es posible conservar este metalóide hasta el fin de la operación, si quiere obtenerse un metal suficientemente decarburado. Este contendrá óxido de carbono, resultante del engendrado durante el afino ó del producido por la reacción entre el óxido de hierro disuelto en el metal y el carbono, y será por consiguiente ampolloso.

Ahora bién; si en este momento se añade silicio, éste reaccionará sobre el óxido de carbono, formándose sílice y quedando carbono libre.



El carbono se disolverá en el acero y la sílice quedará también en él ó formará escorias con los óxidos que puedan existir; pero de cualquier modo que sea, no habiendo productos gaseosos, el metal será compacto.

En Bochum, el producto, aunque cumple con la condición mencionada, no es de muy buena calidad; lo que, según M. Gautier, puede atribuirse á las siguientes causas:

1.^a El acero está demasiado carburado; siendo la fundición añadida pobre relativamente en silicio, debe emplearse una gran proporción de aquélla.

2.^a La sílice producida, que se combina de ordinario con óxido de hierro, da lugar á una escoria poco fluida, que queda en gran parte aprisionada en el metal.

3.^a Queda generalmente en el producto un exceso de silicio, el cual, sumado al exceso de carbono, aumenta la fragilidad del metal.

En Terrenoire hemos dicho que hacen uso de aleaciones siliciosas de hierro y manganeso. Estas aleaciones contienen una proporción de silicio mucho mayor que la contenida en el *spiegel-eissen*, y relativamente mucho menos carbono (véase el cuadro del núm. 158); por consiguiente, la carbu-

ración del metal, por su adición, es insignificante, y, por lo tanto, queda susceptible, si ha sido suficientemente decarburado de antemano, de soportar una proporción bastante notable de silicio sin perder la facultad de forjarse y soldarse.

La adición, antes de la colada, de dicha aleación, produce los resultados siguientes: el silicio impide la formación de cavidades, descomponiendo el óxido de carbono que tiende á formar burbujas; el manganeso reduce al óxido de hierro é impide una producción ulterior de gas por la acción de este óxido sobre el carbono; al mismo tiempo se forma un silicato de manganeso y hierro muy fusible, y que se separa fácilmente del metal; este último llega á adquirir así una gran homogeneidad en la masa.

Para demostrar la diferencia que existe entre el acero compacto obtenido por medio del silicio y el obtenido por la aleación de silicio y manganeso, M. Pourcel, Ingeniero de Terrenoire, colocó en un tubo de porcelana calentado dos cápsulas, una con acero al silicio y otra con acero al silicio de manganeso. Hizo pasar por el tubo una corriente de cloro hasta que se volatilizó todo el hierro en estado de cloruro, y entonces observó que en la primera cápsula quedó un esqueleto de silicato de hierro, que evidentemente estaba mezclado con el metal, mientras que en la segunda no quedó residuo.

353. El Sr. John Parry publicó en 1872 el resultado de algunos análisis de los gases obtenidos calentando fuertemente en el vacío varias muestras de hierro y acero. Mucho más recientemente el Dr. G. T. G. Muller de Brandenburgo, y después el Sr. Windsor, han analizado los gases recogidos en un baño de agua ó aceite, dentro del cual taladraban la muestra de acero fundido que querían experimentar.

Según estos análisis, todas las variedades de hierro y acero fundido, pudlado ó forjado, contienen una considerable cantidad de gases, y éstos están formados en su mayor parte por hidrógeno y azoe. De esto deduce Muller que las

cavidades del acero ampolloso están llenas de dichos gases y no de óxido de carbono, y, según él, en el procedimiento de Bochum el metal se purga de gases merced al gran desprendimiento de óxido de carbono producido por la reacción entre el carbono del *spiegel-eissen* y el óxido de hierro del baño metálico, cuyo gas, no soluble, arrastra consigo hacia el exterior al hidrógeno y azoe disueltos; y en el procedimiento de Terrenoire estos mismos gases serían arrastrados por el silicato de hierro y manganeso formado al introducir en el baño el ferromanganeso silicioso.

354. Modificaciones de la textura del acero producidas por la acción del calor.—Si una cantidad de acero fundido en un crisol se mantiene constantemente en un estado de agitación tal que todas sus partes estén en movimiento, el lingote obtenido después del enfriamiento tendrá una textura cristalina muy fina; si, por el contrario, el metal se enfría en un reposo absoluto, el lingote presentará gruesos cristales bien formados.

La textura cristalina del acero no sólo varía según la manera de efectuarse el enfriamiento del metal líquido, sino que se modifica también calentando el lingote sólido á determinadas temperaturas y dejándolo enfriar de diferentes maneras. Para explicar la ley de los cambios de textura producidos por el calor, extractaremos algunos párrafos de una nota presentada por el Sr. Chernoff á la *Sociedad técnica de Rusia*.

355. Este Ingeniero considera en cada especie de acero tres temperaturas muy marcadas, que representa por las letras *a*, *b* y *c*. En los aceros puros estas temperaturas no varían más que con la cantidad de carbono que contienen. Las *a* y *b* corresponden respectivamente al rojo cereza sombrío y al rojo cereza claro en los aceros duros ó semiduros, y cuanto más dulce es el acero más se van aproximando al punto *c*, que representa la temperatura de fusión, de tal manera que, por ejemplo, para el hierro forjado, el punto *b* corresponde al blanco soldante.

356. La definición del punto *a*, es la siguiente: el acero por muy duro que sea, y por más bruscamente que se enfríe, no puede adquirir más dureza si se le calienta á una temperatura inferior á *a*; en este caso, por el contrario, resulta sensiblemente más dulce y más fácil de trabajar con la lima.

357. El punto *b* está definido como correspondiendo á una temperatura mínima, bajo la cual no se producen modificaciones en el grano del acero, ya sea el enfriamiento lento ó rápido. Es preciso, sin embargo, no considerar esta definición como enteramente absoluta; en efecto, aun á la temperatura ordinaria, el acero, al cabo de un tiempo bastante largo, y bajo la influencia de choques y vibraciones, puede cambiar de textura y pasar del grano fino á un grano grueso y cristalino. Este cambio se hace, sin embargo, con más dificultad que en el hierro forjado y en menor grado; pero es probable que si se calienta á temperaturas elevadas y próximas al punto *b*, la influencia de los movimientos exteriores puede conducir más fácilmente á modificaciones en la textura del metal.

Chernoff ha mantenido durante diez y ocho horas, pedazos de acero á temperaturas próximas al punto *b*, y haciéndolos enfriar con lentitud en arena caliente, no le ha sido posible reconocer el menor cambio en el grano.

En cuanto la temperatura excede del punto *b*, el acero pasa rápidamente del estado cristalino al estado amorfo, y queda en este estado hasta su fusión, es decir, hasta el punto *c*.

358. En este estado es *incompresible*, y relativamente á la permanencia de su amorfismo presenta una cierta analogía con una solución muy concentrada de una sal muy cristalina.

Consideremos, por ejemplo, un pedazo de alumbre cuidadosamente calentado en una cápsula. Cuando se llega á una cierta temperatura, este pedazo de alumbre se presentará como húmedo; los diferentes cristales que lo forman parecerán pegarse unos á otros, formando una masa á punto de

fundirse y que gradualmente llegará á pasar al estado líquido; se tendrá entonces una solución de cristales de alumbre en su propia agua de cristalización. Ahora bién; si se deja enfriar esta masa fluida, cristalizará de nuevo, y según las condiciones en que tenga lugar el enfriamiento, se podrá obtener toda especie de cristales, desde los más gruesos hasta los que apenas son perceptibles á la simple vista.

Si el enfriamiento se hace muy lentamente en medio de un reposo absoluto, se formarán gruesos cristales bién definidos y regulares.

Si el enfriamiento se efectúa lentamente, pero se mantiene siempre la masa en agitación, los cristales se formarán, pero serán muy pequeños.

Si el enfriamiento se hace rápidamente, pero sin agitación, se formarán igualmente pequeños cristales.

En fin, las condiciones más desfavorables á la cristalización, son un enfriamiento brusco acompañado de una agitación constante y enérgica.

En una palabra: todo depende, en primer lugar, del más ó menos tiempo, durante el cual las moléculas pueden disponerse para formar los cristales; y en segundo lugar, de la mayor ó menor facilidad que tengan para desplazarse. La primera condición varía con la velocidad del enfriamiento, y la segunda con el estado de tranquilidad y con el grado de fluidez de la masa que debe cristalizar.

359. Los mismos fenómenos se reproducen para el acero á temperaturas superiores á *b*. Cuanto más calentado está el acero, más dulce resulta, y por lo tanto, sus moléculas tienen más facilidad para formar cristales, con tal que el estado de reposo de la masa, no se encuentre turbado por fuerzas exteriores; y cuanto más lento sea el enfriamiento, mayor será también la tendencia á la cristalización. A temperaturas inferiores á *b*, como ya hemos dicho, *la textura interna del acero no se modifica*, así como no varían los cristales de una sal á temperaturas inferiores á la de cristalización.

360. Estos fenómenos, que presenta el acero, pueden

explicarse considerando que el carbono que contiene, hace el mismo papel que el agua de cristalización en las sales; es decir, que se puede admitir que, á partir de la temperatura *b* el carbono empieza á disolver el hierro, exactamente como á partir de una cierta temperatura, el agua de cristalización empieza á disolver el elemento sólido de la sal.

Esta hipótesis está confirmada por lo que sucede en la cementación, pues para que en esta operación se produzca algún efecto, es preciso calentar el hierro hasta una determinada temperatura; á una temperatura inferior, cualquiera que sea el tiempo durante el cual se deje al hierro en contacto con el carbón, no se produce nada. Es, pues, probable que la temperatura á que el carbón empieza á ser absorbido en la cementación está muy próxima al punto *b*.

361. Ahora bién; como la experiencia ha demostrado que cuanto más fino es el grano del acero tanta mayor es su resistencia y mejores sus cualidades en general, será conveniente, teniendo en cuenta lo expuesto, evitar todas las causas que favorezcan el desarrollo de los cristales y conducir el trabajo tendiendo siempre á obtener el grano más fino posible.

A continuación expondremos los medios más conducentes para obtener estos resultados.

362. De la forja considerada como medio de hacer variar la textura del acero.—Conforme con lo expuesto anteriormente, si un lingote de acero se calienta á una temperatura superior á *b* y en este estado se le somete á un martillado enérgico en todas sus partes, continuándolo hasta que la temperatura descienda por bajo del punto *b*, se dificultará la cristalización tanto más cuanto mayor sea la relación que exista entre la potencia del martillo y el espesor del lingote y en su consecuencia se mejorará la calidad del acero en proporción con la finura del grano obtenido.

Hemos dicho (**358**) que á temperaturas superiores á *b* el acero es *incompresible* y por lo tanto no podrá aumentarse su densidad, y consiguientemente su tenacidad y dureza por el forjado á dichas temperaturas. La experiencia

comprueba, en efecto, que la fuerza desarrollada por el choque del martillo no es suficiente para vencer el enorme esfuerzo molecular desarrollado por el calor.

Por consiguiente, la forja á estas temperaturas no parece producir más resultados que el de variar la forma de los lingotes y dificultar la cristalización por la agitación comunicada á la masa metálica; y si no presentase otras ventajas podría suprimirse dando desde luego á los moldes la forma de los objetos que se desea obtener é impidiendo la cristalización por un enfriamiento rápido. En realidad no es así, pues ya hemos visto (348) que esta operación es indispensable para hacer desaparecer el estado ampolloso del acero.

Para obtener buenos resultados en la forja, es preciso que el martillado se haga lo más rápidamente posible desde el momento que se saca el lingote del horno, y de manera que el martillo obre bién en todos sus puntos para que en ninguno de ellos el acero pueda cristalizar tranquilamente, y no debe suspenderse el trabajo hasta que la temperatura sea menor que b , pues si así se hiciera, empezaría la cristalización desde el momento que las moléculas quedaran en reposo. Al descender á la temperatura b ya no hay inconveniente en cesar el martillado, pues sabemos (357) que entonces ya no puede tener lugar la cristalización.

Debe ponerse sobre todo un especial cuidado en que no se produzca la cristalización antes de empezar el trabajo de la forja, pues á elevadas temperaturas, los cristales formados presentan tan poca adherencia entre sí, que en la mayor parte de los casos, el lingote no podría resistir sin romperse al choque del martillo. Esto podía ser ocasionado por inadvertencia ó ignorancia del que dirige el calentado del lingote si, por ejemplo, lo ha elevado á una temperatura superior á aquella en que debe ser forjado, y para hacerlo descender á ésta, lo ha dejado enfriar dentro del horno.

Durante este tiempo se habrá efectuado la cristalización, y para que el lingote pueda ser forjado, será preciso volverlo á calentar hasta la máxima temperatura obtenida y marti-

lloarlo entonces rápidamente y sin detenerse hasta que cese la tendencia á la cristalización; ó bién dejarlo enfriar y después recalentarlo de nuevo, teniendo cuidado de no llegar á una temperatura demasiado elevada y de no dejar al metal la posibilidad de volver á pasar del estado amorfo, al cual ha venido, al estado cristalino; el martillado puede ya entonces efectuarse sin riesgo de que se rompa el lingote.

Según lo que llevamos dicho, es evidente que á igualdad de trabajo ó enfriamiento, habrá tanta más seguridad de conservar el acero al estado amorfo, cuanto menos se haya excedido de la temperatura *b*; por esta razón es preciso determinar de antemano esta temperatura para cada especie de acero. Para esto, se toma una muestra del metal y se le hace adquirir el grano grueso calentándola suficientemente y dejándola enfriar con lentitud. Después se va calentando á diferentes temperaturas, se sumerge cada vez en un medio refrigerante, como el agua, con objeto de enfriarle rápidamente, y se examina la fractura. La temperatura por medio de la cual se haya obtenido un grano fino y homogéneo, será la temperatura *b*.

363. Hasta ahora hemos estudiado la forja del acero solamente á temperaturas superiores á *b*, y hemos visto que el objeto del forjador debía ser conducir el martillado de modo que todas las moléculas se mantuvieran en movimiento, suspendiendo de este modo la formación de cristales tan perjudiciales á la tenacidad del acero. Veamos ahora lo que sucede á temperaturas inferiores á *b*.

La fractura de un pedazo de acero fundido presenta una superficie rugosa formada por grupos de restos de cristales; estos restos, especie de granos, están amontonados unos sobre otros, y presentan en general formas muy irregulares. Con el microscopio puede verse que estos grupos de granos están separados por intervalos considerables, y un examen más atento muestra que aun los mismos granos no están en contacto perfecto y que se entrelazan, formando diversas combinaciones. En una palabra, el acero, visto con el mi-

croscopio, presenta un aspecto más ó menos poroso, que desde luego excluye toda idea de tenacidad.

Al aumentar la temperatura del acero, los granos se dilatarán, y es muy probable que el paso al estado amorfo coincida con el momento en que la dilatación de los granos ha absorbido los huecos ó poros que los separan, concibiéndose así el que sea incompresible á esta temperatura, y que por lo tanto, no sea susceptible de aumentar su densidad por el martillado más enérgico.

Es evidente, según lo que precede, que si se quiere aumentar la densidad del acero, aproximando unos á otros los granos que lo componen, y obtener de este modo una mayor cohesión, será preciso efectuar el martillado á temperaturas inferiores á *b*.

Si se calienta un blok de acero fundido de una textura determinada á una temperatura inferior á *b*, su textura no cambiará. Si era cristalina, queda compuesta de los mismos cristales, solamente que éstos serán mucho más maleables. Si se forja el blok en este estado, los cristales ó granos, apretados unos contra otros, se alargarán en un sentido y estrecharán en otro. El metal tomará una textura fibrosa, su densidad aumentará notablemente, así como su dureza y su resistencia absoluta á la tracción.

Como comprobación de esto, vamos á exponer á continuación unas experiencias efectuadas hace poco tiempo en el Creusot para comparar la diferencia de dureza obtenida por la forja á diferentes temperaturas.

En una barra de acero laminada de $32^m/m$ de diámetro, se cortaron diez barretas, que fueron forjadas á un diámetro de $19^m/m$, de la manera que á continuación se expresa:

- | | |
|--------------|---|
| Barreta Núm. | 1.—Recocida al rojo cereza. |
| » Núm. | 2.—Conservada natural. |
| » Núm. | 3.—Forjada al amarillo y estampada al cereza. |
| » Núm. | 4.—Idem y estampada al rojo sombrío. |

- Barreta Núm. 5.—Idem id. al rojo naciente.
 » Núm. 6.—Forjada al cereza y estampada al rojo naciente.
 » Núm. 7.—Forjada al rojo sombrío y estampada entre 100° y 200°.
 » Núm. 8.—Idem id.
 » Núm. 9.—Forjada al cereza claro y estampada al cereza naciente. (Después de haber obtenido el diámetro conveniente, se la ha torcido siete veces, y luego se la ha estampado ligeramente.)
 » Núm. 10.—Forjada como el número 8, pero habiéndola hecho sufrir 24 torsiones.

Después de forjadas se las ha dejado al aire libre hasta su completo enfriamiento, y luego se las ha torneado á 16 milímetros de diámetro.

Finalmente, se las ha sometido á ensayos de tracción, habiendo dado los resultados consignados en el siguiente cuadro:

Ensayos de tracción sobre barretas de 16 $\frac{m}{m}$ de diámetro y 100 $\frac{m}{m}$ de distancia entre señales.

| DESIGNACIÓN. | Limite de elasticidad | Carga de rotura. | Alargamiento por 100. | Estricción. | OBSERVACIONES. |
|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-------------|------------------------------------|
| | Kilóg. | Kilóg. | | | |
| Barreta Núm. 1. | 32,5 | 55,5 | 24,0 | 0,520 | Fractura nerviosa. |
| » Núm. 2. | 33,5 | 58,8 | 23,0 | 0,530 | Idem. |
| » Núm. 3. | 36,5 | 63,5 | 21,0 | 0,540 | Idem. |
| » Núm. 4. | 47,5 | 66,0 | 19,5 | 0,510 | Idem. |
| » Núm. 5. | 53,0 | 72,5 | 10,0 | 0,520 | Grano fino. |
| » Núm. 6. | 63,0 | 77,0 | 10,2 | 0,550 | Idem. |
| » Núm. 7. | 101,0 | 109,5 | 2,5 | 0,770 | } Nervio y muchos desgarramientos. |
| » Núm. 8. | » | 100,5 | 4,5 | 0,680 | |
| » Núm. 9. | 39,0 | 63,5 | 14,5 | 0,770 | } Grano fino, nervio en hélice. |
| » Núm. 10. | 36,0 | 60,7 | 11,5 | 0,890 | |

El examen de estas cifras muestra hasta qué punto puede elevarse el límite de elasticidad y la carga de rotura de una barra de acero cuando se la martilla á baja temperatura, pues bastará comparar los resultados dados por las barretas números 1 y 2, que han conservado su resistencia natural, con las números 7 y 8, que han sido forjadas entre 100 y 200°, y se verá que la resistencia casi se ha duplicado.

También es digno de observar el resultado dado por las barretas números 9 y 10.

El modo de preparación de estas dos barretas debe necesariamente haber dado lugar á la formación de nervio en el sentido de una espira, cuyo paso es inversamente proporcional al número de torsiones efectuadas.

La número 9, que ha sufrido siete torsiones, presenta una fractura en bisel, de grano fino y de nervio, dirigida precisamente según la dirección de la hélice engendrada.

La número 10 se ha roto, según una sección recta, presentando una fractura de grano fino con algunos nervios concéntricos á la circunferencia de la barreta. Como en esta barreta el número de torsiones ha sido veinticuatro, el paso de hélice se ha reducido muy considerablemente, y, por lo tanto, la dirección de la espira ha debido necesariamente aproximarse á la sección recta de la barreta.

La comparación entre estas dos barretas manifiesta:

1.° Que en la número 9 la *extricción* (relación entre la mínima sección después de la rotura y la sección primitiva) es mayor que en el número 10.

2.° Que la número 10, á pesar de haber tenido un alargamiento bastante grande (11,5 por 100), se ha conservado casi cilíndrica. Esta diferencia podría explicarse por el modo de resistencia de las espiras de la última barreta.

Desgraciadamente la forja á temperaturas menores á *b* es tanto más difícil cuanto más carburado es el acero, pues dicha temperatura va siendo menor á medida que el metal es más duro, y, por consiguiente, los aparatos forjadores deben aumentar su potencia en proporción, pudiendo llegar

á ser impracticable la forja si es muy baja la temperatura á que hay que efectuarla y muy considerable la sección de la pieza que se trata de forjar.

Así es que el hierro y los aceros muy dulces salen siempre beneficiados por la forja, pues siendo en estos metales muy elevada la temperatura *b*, conservan su maleabilidad muchos grados por bajo de este punto y pueden ser fácilmente forjados

Igualmente las piezas de poca sección, pudiendo ser trabajadas á muy baja temperatura, pueden mejorar mucho sus cualidades por la forja, y así se explica el notable aumento de resistencia que presentan los alambres, por ejemplo, con relación á piezas más gruesas fabricadas con la misma especie de metal.

En cuanto á las piezas de mucha sección, el beneficio de la forja á baja temperatura no suele ser más que superficial, pues generalmente el corazón se conserva todavía demasiado caliente en el momento que ha sido preciso suspender la forja por encontrarse ya la superficie demasiado fría. Esta es la razón porque dijimos (319) que era conveniente conservar las capas superficiales en las gruesas piezas de forja.

364. Temple.—Aunque hemos dicho (362) que por medio de la forja á elevadas temperaturas puede modificarse el estado cristalino del acero, sin embargo, en la práctica en casi ningún caso se puede por esta sola operación conseguir la textura más conveniente, pues particularmente las piezas muy grandes y las de formas algo complicadas, no pudiendo ser trabajadas á la vez en todas sus partes, resultarán con una textura muy irregular y contendrán muchos más gruesos cristales que grano fino. Se conseguirá, pues, nuestro objeto más fácilmente y con más seguridad si *después de haber dado al lingote por el martillado ó laminado la forma que debe tener, le hacemos pasar de nuevo al estado amorfo calentándolo otra vez y le conservamos en seguida en este estado, enfriándole bruscamente á una temperatura inferior á b*. Para esto es preciso evidentemente que, después de haberlo calentado, se sumerja

en un medio que pueda enfriarlo rápidamente. Esta operación es lo que constituye el *temple*.

En el temple concurren á la vez un efecto *químico* y otro *mecánico*.

365. El carbono que contiene el metal se disuelve en el hierro en tanta mayor proporción cuanto más elevada es la temperatura.

Cuando esta disolución metálica se enfría lentamente, tanto el hierro como el carbono toman la textura cristalina, y se produce una mezcla de hierro y grafito que debe producir una disminución en la tenacidad por consecuencia de la falta de continuidad de las moléculas metálicas. Por el contrario, si el enfriamiento se produce bruscamente, la separación del hierro y el carbono no tiene tiempo de efectuarse, y quedan disueltos á la temperatura ordinaria; hay *sobresaturación*.

La energía del temple varía: con la cantidad de carbono que contiene el metal, con la temperatura á que se calienta y con la rapidez del enfriamiento.

Cuanto más carburado sea un acero, naturalmente más susceptible es de que sus propiedades se modifiquen según que su carbono se encuentre mezclado ó disuelto, y por esta razón, porque pueden aumentar mucho de dureza y tenacidad por el temple, se ha dado el calificativo de *duros* á los aceros muy carburados. A partir del rojo sombrío, á cuya temperatura empieza el carbono á disolverse, la energía del temple crece con la temperatura, hasta un máximo que depende probablemente de aquella en que todo el carbono quede disuelto, y que es variable con cada especie de acero. A temperaturas más elevadas, el enfriamiento no podrá ser suficientemente rápido y el efecto del temple empezará á decrecer.

Conforme con la analogía que existe entre el acero y una sal disuelta en su agua de cristalización, el temple será tanto más fuerte cuanto más rápido sea el enfriamiento. Como éste se obtiene por la inmersión de la pieza calentada en un lí-

quido refrigerante, el efecto será tanto mayor cuanto más frío esté dicho líquido y sea mejor conductor del calor. Así es que el temple más débil se obtiene con el acité y los cuerpos grasos en general, que son poco conductores; á éstos sigue el agua ordinaria, luégo el agua acidulada ó salada, y por último, si se quiere conseguir un temple sumamente fuerte, se hace uso del mercurio.

366. Vamos ahora á considerar los efectos mecánicos producidos por el temple, que son el origen de los efectos químicos y que aumentan ó disminuyen la resistencia de la pieza templada según el sentido en que se haya operado el enfriamiento con relación al del esfuerzo que ha de soportar ulteriormente.

Cuando se enfría bruscamente una pieza muy caliente, las capas exteriores se enfrían y contraen, ejerciendo por consiguiente una gran presión sobre el interior, que se encuentra todavía á una temperatura elevada. Esta presión es la que produce los efectos químicos del temple, oponiéndose al movimiento de las moléculas que tratan de agruparse en formas cristalinas. Esta presión, según Mr. Barba, en la actualidad Ingeniero jefe en el Creusot, podría ser suficiente hasta para operar la disolución del carbono que no se hubiere disuelto á la temperatura á que se había calentado la pieza (1).

Para ver la influencia del temple sobre la resistencia de la pieza templada, consideremos un tubo cilíndrico destinado á soportar una presión interior, y supongamos que se haya calentado á una temperatura suficientemente elevada y que se enfría bruscamente por su inmersión en el agua ó en el aceite.

Si el enfriamiento se efectúa por el exterior del tubo, las capas exteriores se contraerán y comprimirán al interior, de cuya parte recibirán la misma presión. Por consiguiente, en

(1) *Etude sur l'emploi de l'acier dans les constructions*, par J. Barba, Ingenieur des constructions navales.—Paris, 1875.

este primer período las capas exteriores trabajan por extensión y las interiores por compresión; pero después, al llegar el enfriamiento á estas últimas, la contracción que de él resulta, está contrariada por la adherencia á la parte exterior, y en su consecuencia el interior quedará en un estado de extensión; inversamente el exterior, estando solicitado hacia el centro por las capas interiores, trabajará por compresión.

Por consiguiente, en el estado de reposo, el interior del tubo está trabajando ya en el mismo sentido en que lo hará trabajar la presión que tiene que soportar, y por lo tanto su resistencia se habrá disminuído en el valor de la tensión inicial; por el contrario, el exterior, que trabaja á la compresión, aumentará la resistencia del tubo. Pero como la influencia de las diversas capas concéntricas de un tubo, sobre su resistencia, disminuye á medida que aumenta su distancia al eje, resultará en definitiva que por el estado desfavorable de las capas interiores, la resistencia del tubo á una presión interior habrá disminuído por el temple efectuado de la manera descrita.

Supongamos ahora que el enfriamiento se efectúa por el interior. Sucederá lo contrario; el interior se enfriará y contraerá, mientras que el exterior estará todavía rojo y blando. Las diferentes capas del tubo, conforme se van enfriando, comprimen á las que están en su interior; de suerte que el resultado final será que el interior estará en estado de compresión y el exterior en el de extensión y se habrá por consiguiente favorecido la resistencia del tubo. Este se encontrará, pues, en condiciones análogas á las de un cañón fundido por el procedimiento de Rodman.

Si el enfriamiento se verifica al mismo tiempo por el interior y por el exterior, la resistencia del tubo, por efecto de las tensiones desarrolladas, podrá no haber variado ó haber aumentado ó disminuído, según la energía del enfriamiento en uno ú otro sentido.

Mr. Bouvard, Ingeniero del Creusot, ha medido por un método muy ingenioso las tensiones y compresiones en los

diferentes puntos de un tubo templado de diferentes maneras, y sus resultados están conformes con las consideraciones teóricas que hemos desarrollado.

367. Por la acción del temple aumenta la dureza, la elasticidad y la tenacidad en los aceros, y disminuye la maleabilidad (medida por el alargamiento) ó lo que es lo mismo, aumenta la fragilidad. Las primeras propiedades son debidas al mayor grado de cohesión molecular, consecuencia de la disolución del carbono y de la falta de cristalización. La última debe provenir de las tensiones interiores en diferentes sentidos, desarrolladas por el enfriamiento. En efecto, si en una pieza cualquiera, por ejemplo, en el tubo de que acabamos de ocuparnos, el enfriamiento fuera tan enérgico que diera lugar á tensiones ó compresiones mayores que el límite de resistencia del metal, éste se haría pedazos en el momento del temple. Esta sería la fragilidad extrema; pero, sin llegar á este punto, se comprende perfectamente que una pieza en la cual unas partes se encuentran en estado de extensión y otras en el de compresión, y además se encuentran mutuamente sostenidas entre sí, será más frágil que otra que se halle en el estado natural, pues un esfuerzo cualquiera, un choque, por ejemplo, que sea susceptible de romper una cualquiera de sus partes, ocasionará inmediatamente la rotura de las más próximas, sostenidas por ellas.

Así puede explicarse el procedimiento que á veces se sigue para trocear bloks de fundición que sería difícil romper por el choque; se les calienta al rojo y se les deja enfriar en el agua. La superficie exterior se contrae excediendo de su límite de elasticidad, y como en la fundición este límite está muy próximo del de rotura, será suficiente un golpe relativamente débil para romper el blok en pedazos. Igualmente los proyectiles fundidos en conchas metálicas se rompen á veces espontáneamente á consecuencia de las tensiones que en su interior ha desarrollado el enfriamiento, incrementadas por algún ligero golpe ó algún cambio desigual de temperatura.

El temple, según M. Caron, produce también un aumento de volúmen. Sin embargo, el aumento es tan poco apreciable, que en la mayor parte de los casos no es posible medirlo y hasta podría suceder que en ciertas circunstancias resultase disminución de volúmen. Así debe suceder en una pieza enfriada por el interior.

368. Con objeto de ver cómo varían las propiedades del acero según la energía del temple, vamos á exponer algunas experiencias efectuadas en el Creusot. Para mostrar la influencia del mayor ó menor enfriamiento sobre piezas calentadas á la misma temperatura, se cortaron en una barra laminada de 22 milímetros de diámetro diez barretas que, después de recocidas cuidadosamente, se tornearon á un diámetro de 15 milímetros.

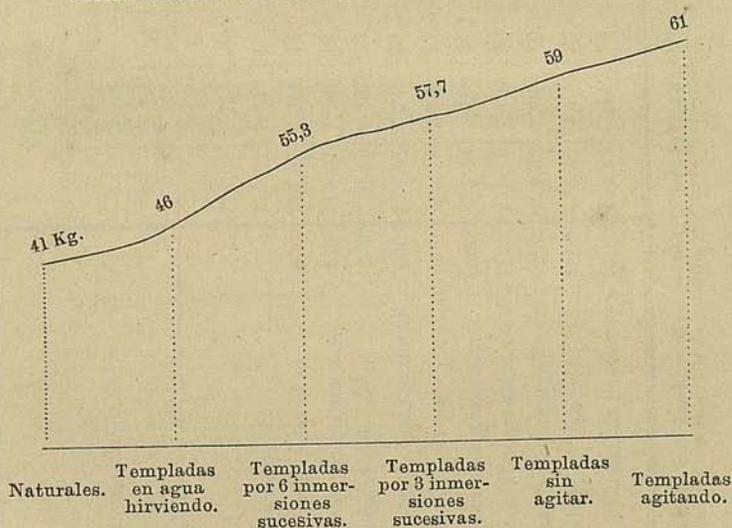
Estas barretas se trataron de la siguiente manera:

- | | | |
|------------|------|---|
| La barreta | Núm. | 1.—Conservada natural. |
| » | Núm. | 2.—Idem. |
| » | Núm. | 3.—Templada en agua á 18° agitando el líquido. |
| » | Núm. | 4.—Idem id. |
| » | Núm. | 5.—Templada en agua á 18° sin agitar. |
| » | Núm. | 6.—Idem id. |
| » | Núm. | 7.—Templada en agua hirviendo agitando el líquido. |
| » | Núm. | 8.—Idem id. |
| » | Núm. | 9.—Templada en agua á 18°, por tres inmersiones. |
| » | Núm. | 10.—Idem, por seis id. |

Después del temple se tornearon las barretas á un diámetro de 13^m,8, y se sometieron á ensayos de tracción, que dieron los siguientes resultados:

| DESIGNACIÓN. | Límite de elasticidad. | Resistencia á la rotura. | Alargamiento por 100. |
|--------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | <i>Kilógramos.</i> | <i>Kilógramos.</i> | |
| Barreta Núm. 1.... | 22,0 | 40,5 | 32,0 |
| » Núm. 2.... | 24,0 | 41,8 | 26,0 |
| » Núm. 3.... | 37,3 | 60,0 | 8,0 |
| » Núm. 4.... | 38,7 | 62,0 | 16,0 |
| » Núm. 5.... | 38,0 | 59,0 | 20,0 |
| » Núm. 6.... | 37,0 | 59,0 | 21,0 |
| » Núm. 7.... | 30,7 | 45,8 | 23,2 |
| » Núm. 8.... | 30,7 | 46,0 | 28,0 |
| » Núm. 9.... | 39,3 | 57,7 | 18,0 |
| » Núm. 10.... | 36,3 | 55,3 | 19,0 |

COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS



369. Con objeto de determinar las modificaciones de dureza y densidad por el temple á diferentes temperaturas, se tomaron en barras de hierro aceroso y acero dulce, lami-

nadas á $30^m/m$ de diámetro doce barretas de $210^m/m$ de longitud.

Las dos series de barretas se trataron de la misma manera. En cada una el número 1 se conservó natural. El número 2 se recoció á 900° . Los números siguientes, después de haber sido recocidos á 900° , se templaron á diferentes temperaturas indicadas en el cuadro.

Después se tornearon todas las barretas á un diámetro de $25^m/m$, 25 , y á una longitud de $200^m/m$. Luégo se pesaron en una balanza de Deleuil, que apreciaba 2 centigramos por una carga de un kilogramo. Los pesos inscritos en el cuadro son el promedio de tres dobles pesadas. Divididos los pesos por el volumen $100148^m, m^3 300$, supuesto constante, se tenía la densidad.

Las barretas se sometieron en seguida á ensayos de tracción, cuyos resultados son los inscritos en el siguiente cuadro.

| DESIGNACIONES. | Hierro num. 7 (1) | | | | | | Acero B num. 10 (2) | | | | | |
|---|-------------------|---------------------------|---------------------|------|------|-------------|---------------------|---------------------------|---------------------|------|------|-------------|
| | Peso obtenido. | Densidad correspondiente. | ENSAYOS DE TRACCIÓN | | | | Peso obtenido. | Densidad correspondiente. | ENSAYOS DE TRACCIÓN | | | |
| | | | E | R | A | Estricción. | | | E | R | A | Estricción. |
| Gr. | K. | K. | p. 100 | | | Gr. | K. | K. | p. 100 | | | |
| N.º 1 Natural | 776,28 | 7,751 | 20,0 | 31,3 | 37,0 | 0,450 | 785,73 | 7,846 | 22,5 | 42,0 | 36,0 | 0,402 |
| 2 Recocida á 900º | 775,81 | 7,747 | 18,0 | 31,8 | 38,0 | 0,428 | 785,85 | 7,847 | 22,0 | 40,3 | 37,2 | 0,368 |
| 3 Templada en agua al azul. 300º | 776,17 | 7,750 | 16,5 | 31,9 | 38,0 | 0,422 | 785,67 | 7,845 | 21,8 | 40,9 | 37,0 | 0,368 |
| 4 Templada al rojo naciente. 525º | 776,03 | 7,749 | 19,5 | 35,4 | 34,8 | 0,428 | 785,96 | 7,848 | 23,4 | 44,7 | 35,2 | 0,377 |
| 5 Templada al rojo oscuro. 700º | 776,65 | 7,755 | 26,0 | 43,0 | 20,8 | 0,525 | 785,32 | 7,841 | 27,6 | 50,4 | 28,7 | 0,383 |
| 6 Templada al cereza naciente. 800º | 776,05 | 7,749 | 29,5 | 48,4 | 24,5 | 0,482 | 785,65 | 7,845 | 32,0 | 53,6 | 25,0 | 0,403 |
| 7 Templada al cereza. 900º | 775,73 | 7,746 | 27,0 | 45,2 | 23,0 | 0,500 | 785,61 | 7,844 | 33,0 | 56,2 | 30,0 | 0,304 |
| 8 Templada al cereza claro. 1000º | 776,46 | 7,753 | 30,5 | 50,8 | 20,0 | 0,508 | 785,67 | 7,845 | 32,0 | 60,2 | 25,0 | 0,407 |
| 9 Templada al anaranjado oscuro 1100º | 775,66 | 7,745 | 33,0 | 53,4 | 20,0 | 0,585 | 785,74 | 7,846 | 36,0 | 63,8 | 23,0 | 0,567 |
| 10 Templada al anaranjado claro 1200º | 775,68 | 7,745 | 30,5 | 46,2 | 24,0 | 0,475 | 785,43 | 7,842 | 39,0 | 62,4 | 24,0 | 0,525 |
| 11 Templada al blanco. 1300º | 775,57 | 7,744 | 27,0 | 46,6 | 26,0 | 0,455 | 785,74 | 7,846 | 38,0 | 60,3 | 19,5 | 0,450 |
| 12 Templada al blanco soldante. 1400º | 775,88 | 7,747 | 26,0 | 43,8 | 23,0 | 0,530 | 785,99 | 7,848 | 37,0 | 57,3 | 20,0 | 0,550 |

Todas estas barras han sido recocidas a 900º antes del temple

(1) Hierro puñado de los hornos rotatorios. (Véase la clasificación del núm. 206.)
(2) Acero dulce para calderas de marina. (Véase la clasificación del núm. 259.)

De estos ensayos parece resultar:

Que tanto el hierro número 7, como el acero *B.* 10, toman el temple á partir del rojo naciente, y que van aumentando sus efectos hasta el anaranjado oscuro (1100°); á partir de esta temperatura disminuye la energía del temple.

Las variaciones de densidad son poco apreciables.

Para que puedan comprenderse mejor las variaciones de los límites de elasticidad y de rotura, y del alargamiento, hemos representado estas cantidades por curvas en las figuras 108 y 109 de la lámina XIII. Las abscisas representan las temperaturas del temple, y las ordenadas correspondientes están en su verdadera magnitud para los alargamientos, y en escala de 1 milímetro por kilogramo para las cargas correspondientes á los límites de elasticidad y de rotura.

370. En Marzo de 1882, M. L. Clemandot, Ingeniero civil, presentó á la Academia de Ciencias de París una Memoria sobre un nuevo tratamiento de los metales, particularmente del acero, que consiste en calentar el metal á la temperatura del rojo cereza, comprimirle fuertemente y mantenerle bajo presión hasta su completo enfriamiento.

Las tres fases de esta operación producen resultados tan análogos á los que presenta el temple, que puede darse á este método el nombre de *temple por compresión*. En efecto, el acero, comprimido de este modo, adquiere una dureza excesiva, un apretamiento molecular y una finura de grano, que le permiten adquirir un gran pulimento, y también, así como sucede al acero templado, toma la fuerza coercitiva que le da la facultad de conservar el magnetismo.

Los hechos señalados por M. Clemandot están de acuerdo con los observados en las herrerías de Saint-Jacques en Montluçon, donde se aplica en grande, desde mediados del año 1881, la compresión del acero fundido por el método empleado desde hace ya varios años en Inglaterra por Whitworth (**349**), con la única diferencia de que continúan la presión hasta el enfriamiento del lingote. Se vé por esto, que este procedimiento difiere del de Mr. Clemandot por

el estado inicial del acero sometido á la compresión; pero que en los dos casos la acción final se ejerce de la misma manera. Así es que se observan resultados análogos; es decir, *un aumento de dureza* del acero comprimido con relación al que no ha sufrido la compresión.

Este aumento de dureza es tanto más sensible, cuanto más carburado es el acero. Es ya apreciable en los aceros que contienen 0,50 por 100 de carbono, bastante notable en los que contienen de 0,70 á 0,80 por 100, y apenas sensible, por el contrario, en los que contienen menos de 0,50 por 100.

En la fábrica de Saint-Jacques no se ha experimentado sobre aceros más carburados; pero en éstos se ha comprobado por numerosos análisis, que la proporción de carbono combinado, con relación á la cantidad total de este cuerpo que el acero contiene, es siempre mayor en el metal comprimido que en el que no lo ha sido.

El efecto producido por la compresión en los aceros, confirma la hipótesis que hemos hecho (366), de que los efectos químicos del temple eran producidos por la presión resultante del enfriamiento. El temple por compresión podrá tener la ventaja sobre el producido por el enfriamiento, de que, siendo la compresión una operación fácil de medir, podrá ser graduada y mantenida fija entre límites previstos de antemano, según el resultado que se desee obtener.

371. Recocido.— Antes de templar un objeto de acero, es preciso *recocerlo*. Hemos dicho (364), que por el trabajo de la forja el metal pierde casi siempre su homogeneidad, y por lo tanto es muy variable la resistencia en sus diferentes puntos. Si se templase en este estado, las diversas partes del objeto se dilatarían desigualmente y podrían producirse grietas. Es preciso, pues, antes de templar el metal, y aun cuando no tenga que sufrir esta operación, devolverle su homogeneidad; este es el objeto del *recocido después de la forja*.

El recocido consiste en calentar el metal á una temperatura más ó menos elevada, y abandonarlo en seguida á un enfriamiento lento.

La temperatura á que debe efectuarse el recocido, depende de la dureza del metal y de la forja que ha sufrido la pieza.

Así, un acero duro, de 80 kilogramos de resistencia, por ejemplo, no deberá calentarse ni para ser forjado, ni para ser recocido, á una temperatura superior al rojo cereza.

Para un acero más dulce, de 45 kilogramos de resistencia, por ejemplo, la temperatura podrá elevarse hasta el anaranjado claro.

Para los aceros de una dureza intermedia, las caldas deberán darse á una temperatura intermedia entre el cereza y el anaranjado.

Cuando el recocido de una pieza se haya hecho á una temperatura inferior á la exigida por su dureza y por la forja, es de temer que sea insuficiente y hasta nulo.

Si la pieza tiene formas que facilitan su forjado y por consiguiente puede haber la seguridad de que éste se ha hecho en las mejores condiciones, se podrá bajar la temperatura del recocido correspondiente á la dureza del metal trabajado. En todos los casos y aun para los aceros duros, conviene no recocer á una temperatura inferior al rojo cereza.

A este propósito, citaremos unas experiencias efectuadas en el Creusot por el Capitan Boyer, de la Artillería de Marina francesa.

En una rodaja cortada en la parte anterior del cuerpo de un cañón de 34 centímetros, se tomaron cuatro barretas cuadradas de 31 milímetros de lado.

El grano de la rodaja era bastante grueso, y presentaba facetas bastante marcadas.

El metal de otra rodaja del mismo cañón había dado en los ensayos de tracción hechos en la fundición de Nevers los resultados siguientes:

| Limite de elasticidad. | Carga de rotura. | Alargamiento. |
|------------------------|------------------|---------------|
| 17,34 kilóg. | 49,17 kilóg. | 21,4 |
| 16,83 » | 48,96 » | 22,2 |
| Medias 17,08 | 49,05 | 21,8 |

Las barretas se recociéron, como se dice á continuación, en el horno que para este objeto existe en el Creusot, en el cual se hallan sustraídas al contacto de la llama del hogar.

En una primera experiencia se recociéron las barretas marcadas con los números 1 y 2, colocándolas juntas en el horno. La numero 1 se retiró al *cereza claro* (casi muy claro) después de diez y seis minutos de caldeo; la número 2 después de veintitres minutos, habiendo alcanzado la temperatura del *anaranjado muy claro*. Se las enterró en seguida en cenizas calientes para enfriarlas, y al día siguiente se hizo una fractura en cada una de ellas por medio del martillo-pilón.

La número 1, tenía un grano fino y regular; la número 2, tenía el grano más grueso y brillante; pero bastante más fino que el de la rodaja antes de la operación.

En una segunda experiencia se calentaron en las mismas condiciones: la número 3 al *cereza naciente* y la número 4 al *cereza muy claro*; después, la número 2, ya transformada en la primera experiencia, se recoció de nuevo al *cereza muy claro*, y al número 1 se la hizo adquirir la temperatura del *blanco*.

Se dejaron enfriar las barretas en las mismas condiciones que en la primera experiencia.

La número 3 no manifiesta transformación sensible.

La número 4 parece completamente análoga al número 1 en la primera experiencia.

La número 2, después del segundo recocido al *cereza*

claro, tiene un grano muy fino y se distingue de los precedentes.

La número 1 tiene el grano más grueso que antes de los recocidos; pero regular.

Después de la segunda experiencia, se tomaron en cada una de las cuatro barretas, otras cilíndricas para ensayarlas por tracción. El siguiente cuadro da el resultado de las modificaciones obtenidas.

| 1. ^a Experiencia. | | 2. ^a Experiencia. | | | |
|---|---|--|--|---|--|
| NÚM. 1. 1. ^{er} RECOGIDO | NÚM. 2. 1. ^{er} RECOGIDO | NÚM. 3. 1. ^{er} RECOGIDO | NÚM. 4. 1. ^{er} RECOGIDO | NÚM. 1. 2. ^o RECOGIDO | NÚM. 2. 2. ^o RECOGIDO |
| CEREZA CLARO (CASI MUY CLARO.) — | ANARANJADO MUY CLARO. — | CEREZA NACIENTE. — | CEREZA MUY CLARO. — | BLANCO. — | CEREZA CLARO. — |
| Grano transformado, fino, regular. Desgarramiento. — | Grano transformado, bastante fino, regular; pero un poco más grueso que el de la barreta precedente. Desgarramiento. — | Grano grueso no transformado; parece idéntico al de la rodaja. Poco desgarramiento. — | Grano transformado, fino y regular; diferencia poco sensible con el número 1 despues del primer recócido. Parece, sin embargo, más fino, pero con ménos desgarramiento. — | Grano grueso y regular, más grueso que el de la rodaja. — | Grano muy fino, más fino que el de las otras barretas, regular, desgarramientos hacia los bordes y una parte un poco seca en el centro. — |
| No se hicieron ensayos á la tracción. | No se hicieron ensayos á la tracción. | <i>Ensayos á la tracción.</i> E... 17,5 Kilóg. R... 54,0 » A... 20,5 p. 100 | <i>Ensayos á la tracción.</i> E... 26 Kilóg. R... 55 » A... 23 p. 100 | <i>Ensayos de tracción</i> E... 21,0 Kilóg. R... 58,7 » A... 20,0 p. 100 | <i>Ensayos de tracción</i> E... 30 Kilóg. R... 56 » A... 19 p. 100 |
| | | Grano brillante, poco nervio. La superficie exterior de la barreta ha perdido su pulimento y aparece rugosa. | Fractura fibrosa, conservando el pulimento exterior. | Grano brillante y nervio. La superficie exterior ha perdido su pulimento como en la barreta núm. 3. | Grano muy fino y un poco de nervio. Conservado el pulimento exterior. |

La prueba de tracción confirma lo que había indicado la fractura para la barreta número 3; es decir, que no se había introducido ninguna modificación. En todas las otras barretas, el límite de elasticidad, así como la resistencia, han aumentado. El máximo de resistencia corresponde á la barreta número 1, recocida al blanco, que ha manifestado un aumento de 4,7 kilogramos. El mayor límite de elasticidad, ha sido dado por la barreta número 2, después del segundo recocido, que ha acusado un aumento de 12,5 kilogramos; los alargamientos son poco diferentes.

Estas experiencias se han hecho con objeto de reconocer si la transformación del grano puede efectuarse por la sola acción del calor. Según Chernoff, no se produce sino á una temperatura determinada, y calentando más, lo que se conseguiría en las mismas condiciones de enfriamiento, sería el favorecer la formación de cristales, y por consiguiente, obtener un grano más grueso. Las dos experiencias se han hecho con este objeto; pero lo único que puede deducirse de ellas, es que la temperatura *debe ser superior al cereza naciente*, y que solamente entre esta temperatura y el cereza muy claro, es decir, entre límites bastante estrechos, es donde es preciso investigar si hay transformación progresiva con el mismo modo de caldeo y enfriamiento.

Pero estas dos experiencias han confirmado que la serie de transformaciones por la acción del calor únicamente, se producen bien en las condiciones de la prueba, como lo dice Chernoff. Modificación nula del grano (barreta número 3), mientras no se pasa de una cierta temperatura, que en este caso es ya bastante elevada, el cereza naciente (para esta clase de metal); muy acentuada (barreta número 4 y número 1, primer recocido), próximamente al cereza muy claro, que da un grano bastante fino; y más allá, elevando la temperatura (barretas número 2, primer recocido y número 1, segundo recocido), el grano vuelve á ser cada vez más grueso.

Es muy de notar también el hecho indicado por las

pruebas de tracción, de haberse aumentado el límite de elasticidad en todas las barretas modificadas (números 1, 2 y 4).

372. El recocido es una operación que no sólo debe efectuarse después de la forja para restablecer la homogeneidad perdida por este trabajo, sino que también debe hacerse después del temple para destruir total ó parcialmente las tensiones moleculares desarrolladas por esta operación (**367**) que aumentan la fragilidad de la pieza, ó lo que es lo mismo, disminuyen su resistencia al choque.

Si el recocido de una pieza templada se efectúa á una temperatura superior á *b*, el metal tomará la textura cristalina, y el efecto del temple quedará destruído por completo. Pero si se hace á una temperatura inferior, el metal, no pudiendo cristalizar, conservará la misma textura que le había dado el temple, y por lo tanto la misma dureza y tenacidad. Además habrá disminuído su fragilidad en razón á la mayor uniformidad en el enfriamiento de sus diferentes partes.

Para que este efecto sea el mayor posible, será preciso que el recocido se haga á la temperatura más elevada comprendida dentro del límite marcado, y que el enfriamiento sea lo suficientemente lento para que no se desarrollen tensiones interiores. Por esto el recocido de algunas piezas de espesor algo considerable tiene que durar muchos días.

Sin embargo, por el recocido siempre se pierde alguna dureza, pues en virtud del enfriamiento lento se separa parte del carbono disuelto por la acción del temple. Esta separación del carbono será tanto mayor cuanto más grande sea la cantidad que contenga el acero y cuanto más dure el enfriamiento. Como esta última circunstancia depende en gran parte de la temperatura, se deduce de aquí que cuando se requiera mucha dureza y no sea un grande inconveniente la fragilidad, como, por ejemplo, en las herramientas que no deban trabajar por choque, deberá hacerse uso de aceros duros y después de templados, recocerlos á baja temperatura. Así, á una navaja de afeitar se le da un recocido muy débil, un recocido al *amarillo pajizo*, que corresponde á una tempe-

ratura de 220° (13). Si además de conservar bastante dureza, la pieza debe ser muy resistente, como una hoja de sable, por ejemplo, se la calentará hasta el *azul*, más ó menos oscuro, es decir, entre 285° y 315°. Por último, para piezas de artillería, planchas de blindaje y para las construcciones donde se necesite una materia más maleable, más resistente al choque, además de emplear aceros más dulces, se les deberá recocer á una temperatura bastante elevada, al *rojo cereza*, por ejemplo, para disminuir lo más posible las tensiones moleculares desarrolladas por el temple.

373. Doble temple.—En el Creussot se empezó á estudiar desde 1880, y hoy día está ya en práctica en la fabricación de ciertas piezas, un nuevo método de temple que modifica muy ventajosamente la naturaleza del acero. La fragilidad se disminuye muy notablemente y se conserva, sin embargo, una gran tenacidad.

La pieza que va á templarse por este método debe recocerse después de la forja á fin de obtener en toda su extensión la más completa homogeneidad. Esta precaución (371), debe preceder á toda operación de temple; y si hasta aquí no se la ha dado verdadera importancia, debe consistir en no haberse hecho bién cargo de las diferencias de estado molecular que pueden resultar de la variación de las temperaturas de la forja.

La pieza se temple en seguida en agua á una temperatura variable con la calidad del acero y con la dureza que se desee obtener. Por ejemplo: para aceros dulces que tengan una resistencia á la rotura de 48 kilogramos próximamente antes del temple, la temperatura variará entre el *cereza* y el *cereza claro*, ó todo lo más *muy claro*.

Por último, la pieza vuelve á templarse en agua á una temperatura comprendida entre 400 á 600°, según la naturaleza del acero. Para el que hemos tomado como ejemplo, la temperatura de este segundo temple corresponde á 600°, es decir, poco menos que el *rojo sombrío*. Las ventajas esenciales que resultan de este procedimiento son: que el acero adquiere

mucho cuerpo; que con una tenacidad igual y hasta mayor puede doblarse más completamente cuando se ha tratado de este modo, que cuando ha sido templado por los métodos ordinarios; y que las roturas son menos bruscas.

En varios ensayos de choque hechos con barretas de sección cuadrada de 30 milímetros de lado, habiendo sufrido el doble temple en las condiciones indicadas, se ha conseguido doblarlas varias veces en sentido inverso por el choque de un peso de 18 kilogramos cayendo de una altura de 3^m,5 y han podido soportar de 100 á 110 golpes antes de romperse.

Barretas del mismo metal, tratadas escrupulosamente por los procedimientos ordinarios, templadas en aceite y recocidas, no han podido soportar sesenta golpes.

La fractura de las barretas que han recibido el doble temple está caracterizada por una parte nerviosa en los bordes, lo cual es indicio de que no se han roto bruscamente, mientras que la de las otras barretas es de grano más ó menos fino.

Por último, la prueba más concluyente de la bondad de este tratamiento está en la notable superioridad que han demostrado las planchas de blindaje de acero fabricadas en el Creusot sobre las de hierro y mixtas, de otras procedencias, en los ensayos comparativos que muy recientemente han tenido lugar en Spezzia para la marina italiana y en la isla de Amajer, cerca de Copenhague, para el blindaje del crucero *Tordenskjold* de la marina danesa, pues todo el secreto de la fabricación de las planchas de blindaje del Creusot está en la aplicación del *doble temple*, aparte del esmero con que en dicho establecimiento ejecutan el trabajo y del perfecto conocimiento que tienen del metal que tratan y de las temperaturas á que deben efectuarse todas las operaciones.

374. No es fácil explicar satisfactoriamente los fenómenos que tienen lugar en el doble temple. Es de presumir que el efecto del segundo temple á baja temperatura sea análogo al que produce el recocido después del temple; es decir, que

hará desaparecer las tensiones moleculares desarrolladas por el primer temple, con la ventaja además sobre el recocido de que no ocasionará la separación del carbono disuelto.

Calentada la pieza hasta que presente el color del *rojo naciente* ó *sombrío*, el interior se encontrará á una temperatura más baja, y por lo tanto se habrá dilatado menos que las partes exteriores. Estas, al efectuarse el enfriamiento brusco, se contraerán y sufrirán un esfuerzo de extensión á causa de la resistencia que le opone el interior. Si en este estado se encontraran todas las partes de la pieza á la misma temperatura, la contracción continuaría regularmente y resultarían las partes interiores en estado de compresión, y las exteriores en el de extensión. Como estas fuerzas son de sentido contrario á las que hemos dicho (366) que se desarrollan por el temple de una pieza enfriada por el exterior, se ve fácilmente que el temple en estas condiciones habrá equilibrado total ó parcialmente las tensiones moleculares desarrolladas por el primer temple. Si después del primer período del enfriamiento, el interior estuviera más caliente que el exterior, ejercería presiones en sentido contrario, que disminuirían la intensidad de las primeras.

Es posible en todos los casos calentar las piezas de manera que resulte la diferencia de temperatura más conveniente entre el centro y la superficie de ella. Bastará para esto tener presente que cuanto menor sea el exceso entre la temperatura del horno y la que ha de adquirir la pieza que en él se calienta, más tiempo tardará ésta en calentarse, y más uniforme será la temperatura en todas sus partes; y que cuanto más delgada es una pieza, tanto más pronto se calienta. Por consiguiente, la temperatura del horno deberá ser tanto mayor, cuanto más diferencia se quiera obtener entre la de la superficie y la del interior del objeto, y cuanto menor sea la sección de éste.

375. Prácticas de las diversas operaciones que reclama el trabajo del acero.—Descritos ya en los párrafos anteriores los fundamentos de las diferentes

operaciones que tienen que ejecutarse con el acero después de haber sido obtenido por cualquiera de los métodos que hemos estudiado en el capítulo anterior, vamos á hacer una ligera reseña de ellas, empezando por la colada de los lingotes hasta dejarlos en estado de ser concluídos por el trabajo en frío.

376. *Colada de los lingotes de acero.*—El acero líquido, ya provenga de crisoles, de convertidores de Bessemer, ó de hornos de Martín Siemens, se vierte directamente en los moldes ó en un caldero de colada que, como ya dijimos al tratar del procedimiento de Bessemer, es de palastro revestido interiormente de una gruesa capa de barro refractario. Una hora antes de la colada, se le deseca sobre un fuego de leña y carbón vegetal, calentándolo hasta el rojo.

En el fondo del caldero está abierto el agujero de colada, que tiene generalmente de 25 á 30 m/m de diámetro. Este agujero se tapa por medio de una *canilla* encorvada, que está cubierta de barro refractario y se calienta al rojo lo mismo que el interior del caldero. La extremidad de la canilla está fija á una palanca exterior al caldero, por medio de la cual se maneja con facilidad.

377. Los moldes en que se cueban los lingotes se llaman *lingoteras*. Generalmente son de fundición y de una sola pieza; su superficie interior es la de un tronco de pirámide octogonal ó cuadrada. Se prefiere la forma de tronco de pirámide á la de prisma, porque la inclinación de las paredes facilita el desmoldeo. La forma octogonal ó cuadrada de la sección permite presentar al martillo superficies planas durante el primer periodo de la forja.

La superficie interior de las lingoteras se recubre de un baño de negro de humo desleído en aceite, el cual se seca antes de la colada.

Las lingoteras se consolidan exteriormente con sunchos de hierro cuando los lingotes son algo considerables.

Para la colada de lingotes de grandes dimensiones destinados á la fabricación de piezas de artillería ó planchas de blindaje, se hace uso en el Creusot de lingoteras compuestas

de dos partes representadas en las figuras 111 y 112 de la lámina XIV. La figura 111, es el molde del cuerpo del lingote y está formado por planchas de acero *a, a, a, a*, remachadas en sus aristas y aseguradas con tirantes de hierro dentro de una caja cilíndrica de palastro *b, b*. Entre el molde y la caja se hace pasar una corriente de agua fría, que entra por el tubo *c*, y sale por el *d*. Por efecto de este enfriamiento, la costra del lingote se solidifica más pronto, y resulta más compacta que cuando los gases tienen lugar de reunirse en forma de burbujas, y al mismo tiempo se formará más rápidamente el embudo que resulta en la parte superior por la tracción del metal. La figura 112 se coloca sobre la parte que hemos descrito, y constituye el molde de la *mazarota*; es de fundición y se rodea con arena para disminuir el enfriamiento. Así resulta, que el metal de la mazarota, además de la presión que ejerce sobre el lingote, encontrándose más tiempo en estado fluido, llenará los espacios que tienden á formarse por la contracción, y recibirá las escorias que suban á las superficie.

378. Existen dos métodos de colada: directo y por sifón. El primero consiste en verter el metal por la boca de la lingotera y el segundo en hacerlo penetrar por el fondo, para lo cual es preciso unir á la lingotera un bebedero que dessemboque en esta parte. En este último procedimiento, el metal más caliente, entrando por la parte inferior de la lingotera, tiende constantemente á subir á la superficie y á igualar la temperatura en toda la masa. Bajo este punto de vista, este sistema es tal vez superior al directo, pero exige que el metal se cuele muy caliente, pues si no, podría formarse una costra sólida en la superficie superior antes de terminarse la colada, costra que podría romperse durante la operación por efecto del metal líquido subyacente y formar una capa de metal no soldado en el interior del lingote.

Cualquiera que sea el método de colada adoptado, es importante colar lo más rápidamente posible y sin interrupción.

Un instante después de la colada, cuando la superficie del acero se ha calmado, se recubre con una tapa de palastro, y las uniones de ésta y la lingotera se llenan de arena.

379. *Enfriamiento del lingote.*—Cuando el acero se ha enfriado hasta la temperatura del rojo sombrío próximamente, se retira la lingotera suspendiéndola con una grua y el lingote quedará en el piso del taller. Lo más frecuente es que el lingote se lleve inmediatamente al horno de recalentar para someterlo á la forja; pero cuando esta operación deba ser ácida, se recubre de una capa de arena bastante gruesa para que pueda enfriarse lentamente fuera del contacto del aire. Este enfriamiento completo, y el calentado ulterior del lingote, exigen muchas precauciones.

380. *Recalentado.*—Un caldeo demasiado brusco produce esfuerzos de dilatación excesivos en las capas superficiales; un enfriamiento demasiado rápido produce, por el contrario, esfuerzos de contracción también excesivos en estas mismas capas.

En uno y otro caso las partes centrales podrían no poder resistir á estos esfuerzos, y resultarían entonces roturas interiores, que inutilizarían el lingote.

Cuando se parte de un lingote frío, es preciso que el horno en el que se le introduzca, no esté á una temperatura superior al rojo sombrío y que el fuego se active muy lentamente. El horno empleado puede ser uno cualquiera de los descritos en el artículo anterior.

Si el lingote no se introduce frío en el horno, sino que está á la temperatura del rojo, puede el horno estar calentado de antemano á una temperatura más elevada, y no se necesitan tomar tantas precauciones al principio de la calda.

Durante el tiempo que está en el horno, se tiene cuidado de volverlo varias veces para que se caliente uniformemente en todas sus caras.

La temperatura precisa para la forja varía desde el *anaranjado* hasta el *blanco*, según la naturaleza del metal. Cada

vez que el lingote se aproxima á ella, se disminuye el tiro del horno durante algún tiempo para obtener una bién uniforme, debiendo tener especial cuidado en que ésta no descienda durante la calda, pues podría dar lugar á los inconvenientes que hemos mencionado en el párrafo **362**.

381. *Forja.*—Cuando se ha calentado suficientemente el lingote, ó la parte de él que deba ser forjada, se procede á esta operación.

Si los lingotes han de servir para la fabricación de planchas de palastro, de carriles ú otras barras perfiladas, se estiran en los laminadores del mismo modo que los paquetes de hierro ó acero soldados.

Quando se destinan á piezas que deben ser trabajadas por medio del martillo, se les va dando formas que se aproximen cada vez más á la definitiva en el menor número de caldas posible. Si, por ejemplo, se trata de forjar un cilindro para un árbol de hélice ó una pieza de artillería, se empieza por caldear la parte de la mazarota, se lleva sobre el yunque de un martillo-pilón de potencia proporcionada á la pieza que se trata de forjar y se estira por sus cuatro caras hasta formar una barra, que sirve para manejar el lingote durante las primeras caldas.

Forjada la barra, se introduce el lingote en el horno dejándola fuera, y cuando ha adquirido la temperatura conveniente (que para el metal empleado en las piezas que hemos tomado como ejemplo debe ser el *anaranjado claro*) se lleva al martillo, donde se bate y estira por sus cuatro caras hasta que la temperatura desciende al *rojo cereza*. Llegado á este estado, se le vuelve á dar otra calda y se empieza á martillar sobre las aristas para hacerlo de sección octogonal. Esto se conseguirá en un número de caldas que será tanto mayor cuanto más grande sea el lingote y la relación entre su sección y la que ha de tener la pieza. Todas estas caldas deberán darse al *anaranjado claro* y terminarse al *cereza*.

Durante una de ellas, cuando la pieza haya adquirido la longitud suficiente para ser manejada con comodidad, se

corta, valiéndose de una tajadera, la mazarota con la barra que se había forjado de ella.

Terminada esta primera parte de la forja se procede al estampado para dar á la pieza la sección circular, lo cual se ejecuta en un martillo que tiene, así como el yunque, un rebajo de dicha forma. Esta estampación se efectúa en varias caldas que, en general, empiezan al anaranjado y terminan al rojo sombrío.

Cuando se opera sobre un lingote colado en hueco, se introduce, durante el martillado, en el alma de este lingote un mandril de hierro que penetre con un cierto juego. Este mandril sirve para manejarlo, y el juego que existe permite que el calor circule libremente contra las paredes interiores. Además, el martillo, obrando solamente sobre una corona, produce un forjado más regular.

382. Las operaciones sucesivas del martillado pueden dar á conocer diversos defectos en el metal.

Si estos defectos son graves podrán ocasionar el desecho del lingote.

Si son solamente grietas superficiales, se las hace desaparecer con un cincel desvaneciendo los bordes. Un martillado ulterior hará desaparecer las señales de esta operación.

También se procurará que el lingote no se encuentre recubierto de óxido en el momento del martillado, pues entonces este óxido se incrustaría en el metal. A este efecto, se barre con una escoba de brezo la superficie que va á recibir el choque del martillo, y durante el estampado se arroja agua á cada golpe, la cual, evaporándose repentinamente, hace desprenderse la cáscara de óxido que tiene la pieza.

383. *Recocido después de la forja.*—Las maneras de efectuar el recocido son muy variables y difieren necesariamente según la importancia de las piezas.

Para piezas cuyo peso no exceda de 500 kilogramos el modo de recocido que mejores resultados da es el siguiente:

La pieza forjada se coloca, después de fría, en un horno de reverbero calentado de antemano á la temperatura que

quiera darse á la pieza que se trata de recocer; cuando ha tomado la temperatura del horno, se la retira y coloca en un lecho de cenizas de hulla que no contengan carbonilla, donde se la deja enfriar, después de haber tenido cuidado de cubrirla enteramente á fin de no dejar ninguna parte en contacto del aire. El enfriamiento puede durar más ó menos tiempo según sea la pieza; para una de 500 kilogramos de peso puede esperarse tres días antes de retirarla del lecho de cenizas.

En las piezas de formas irregulares puede ser peligroso introducirlas frías dentro del horno caliente, porque podrían rajarse á causa de una transición demasiado brusca de temperatura (380). Este accidente, se previene en las piezas en que haya que temerlo, dejándolas solamente tibias antes del recocido.

384. Para las piezas de mucho peso y grandes dimensiones, el modo de recocer que se acaba de describir, no sería práctico; así, para esta clase de piezas se dejan enfriar lentamente los hornos especiales en los cuales se las ha colocado y que se han calentado al mismo tiempo.

Con este objeto se emplea en el Creusot el horno representado en las figuras 113 y 114 de la lám. XIV. Este horno tiene cuatro hogares *A, B, C, D*, alimentados con hulla. La plaza es movable, y está constituida por un vagón *E* que puede retirarse del horno para cargar sobre él las piezas que se quieren recocer apoyadas sobre los dos polines *m* y *n*. Cuando se han arreglado bién las piezas sobre el vagón, se lleva éste á su sitio y se tapa la entrada del horno con una cítara de ladrillos, en la que se dejan algunas aberturas para vigilar la operación.

La llama que sale de los hogares, atraviesa por entre las piezas dispuestas sobre la plaza del horno y penetra por los tragantes *TT* para salir por la chimenea *V*.

Activando el fuego en uno ú otro hogar, se dirige la operación de manera que todas las piezas se calienten lo más uniformemente posible. Obtenida la temperatura deseada, se tapan todas las aberturas y se deja enfriar el horno.

385. Suelen recocerse también las piezas dentro de cajas de fundición. Este sistema de recocido no da tan buenos resultados como el que se acaba de describir, porque se obtiene difícilmente la temperatura á que deben calentarse las piezas; así es que este método está llamado á desaparecer, salvo para el recocido de palastros finos, alambres ú objetos de pequeñas dimensiones, que haya necesidad de preservar de la deformación y de la oxidación superficial. Cuando tenga que efectuarse el recocido por este sistema, se ejecutará como hemos indicado en el párrafo **344**.

386. *Temple y recocido.*—Las piezas de acero duro, como las herramientas y las armas blancas, deberán terminarse antes de ser templadas y recocidas, á escepción únicamente del amolado y dulcido, que deben ejecutarse después, porque la dureza que adquieren dificultaría el trabajo en frío; no habiendo por otra parte inconveniente en hacerlo así; pues como el temple de esta clase de metal se efectúa á una temperatura relativamente baja, no se deforman ni oxidan de una manera importante. En los aceros dulces, por el contrario, estas operaciones se ejecutan á una temperatura bastante elevada, y por consiguiente las piezas se cubren de una espesa capa de óxido, que disminuye sus dimensiones, y además pueden también sufrir flexiones que sería difícil hacer desaparecer á no ser por medio del torno ó del cepillo. Por lo tanto estas piezas deberán solamente desbastarse dejándoles un ligero exceso de metal en todos sentidos.

Determinada por la experiencia la temperatura á que una pieza debe templarse y recocerse, la única dificultad de estas operaciones es el poder conocer dicha temperatura con exactitud. Los aparatos pirométricos conocidos no dan buen resultado, y es preciso guiarse únicamente por los colores que toma el metal, para lo cual se necesita, además de una gran práctica, una habilidad especial que muy pocas personas poseen.

Por lo demás, con tal de obtener la temperatura asig-

nada, las piezas pueden calentarse en un hogar cualquiera; en un horno de reverbero, ó rodeándolas simplemente de leña, carbón vegetal ó cok. Obtenida dicha temperatura, se sumerjen según los casos, en un baño de agua ó aceite para templarlas, y para recocerlas se dejan enfriar enterrándolas en cenizas, en cal, en arena, en torneaduras de fundición ó en aserrín seco.

Sin embargo, ciertas piezas como los cañones, por ejemplo, deben calentarse en posición vertical, pues de otro modo, por su propio peso, adquirirían deformaciones perjudiciales.

Para esto, se necesita hacer uso de hornos especiales, como por ejemplo, el representado en las figuras 115 y 116 de la lám. XIV, que es el que se usa en el Creusot.

Este horno es cilíndrico, de una altura mayor que la de las piezas que en él se han de caldear, tiene dos hogares *A* y *B* alimentados por hulla. Se cierra por la parte superior con una tapa *C* de ladrillos refractarios asegurados en un marco de hierro. Las llamas penetran por las aberturas *a, a, a* en el espacio donde se introduce la pieza que se va á caldear, y salen de él por las *b, b, b*, que están en comunicación con la chimenea *D*. En frente de las aberturas *a* existen otras *c, c, c* tapadas cada una con un ladrillo. Estas aberturas sirven no tan sólo para inspeccionar la operación, sino también para dirigirla; pues cuando se vea que en algún punto la temperatura sea más elevada que lo conveniente para que la pieza se caliente con uniformidad, se dejará abierta la abertura que esté frente á dicha parte, y el aire que penetrará por ella hará descender la temperatura.

Al lado del horno se halla dispuesta una profunda tina *E* llena de aceite, con una doble envuelta, por donde circula agua fría.

Valiéndose de una grua, se introduce la pieza dentro del horno; se tapa éste, y cuando esté á la temperatura conveniente, se saca con la misma grua y se sumerge en el aceite,

donde se la tiene el tiempo suficiente para su completo enfriamiento.

El recocido se ejecuta calentando la pieza en el mismo horno, y enterrándola después en cenizas que se encuentran en su proximidad.

CAPÍTULO VII

PRUEBAS

PARA LA CLASIFICACIÓN Y RECEPCIÓN DE LOS PRODUCTOS SIDERÚRGICOS

387. La gran variedad de productos que pueden obtenerse dentro de los tres tipos férreos de que hemos tratado y las diversas aplicaciones que de ellos pueden hacerse, reclama el empleo de medios prácticos de reconocimiento, tanto para el fabricante, á quien conviene poder clasificarlos según sus diferentes cualidades, como para el comprador, que debe asegurarse que el metal que adquiere reúne las condiciones requeridas para el empleo que de él ha de hacer.

Con este objeto, todos los establecimientos metalúrgicos, además del análisis químico indispensable para conocer el tratamiento que deben emplear según el producto que desean obtener, ejecutan diversas pruebas mecánicas, tanto en frío como en caliente, para clasificar este producto según varios números ó denominaciones.

Las clasificaciones varían en las diferentes fábricas, y es conveniente conocer las bases en que se fundan, para poder comparar entre sí los productos y adquirir los de la calidad apetecida indistintamente en diversos establecimientos. A este efecto puede consultarse un trabajo del Coronel Adamí,

de la Artillería italiana, publicado en Diciembre de 1882 en el *Giornale di Artiglieria e Genio* (1).

Los ensayos, con ligeras variaciones, son iguales en todas partes; y lo que únicamente varía es el número de clasificación ó el nombre con que se distinguen los productos de la misma calidad.

Vamos á considerar separadamente los ensayos ó pruebas que se ejecutan en *frío* para determinar la resistencia á la tracción, á la compresión, á la flexión ó al choque, y los que se verifiquen en *caliente* para juzgar de la facultad de forjarse y soldarse y de los efectos del temple.

Artículo 1.º—Pruebas en frío.

388. Ensayos de tracción.—Es indudable que en la mayoría de los casos las propiedades que más interesa determinar en el hierro y el acero, son la elasticidad y la tenacidad, y consiguiéndose esto por medio de los ensayos de tracción, debemos darles la preferencia sobre los que sirven para juzgar de cualidades menos importantes.

Hasta no hace mucho tiempo los físicos se servían para determinar el límite de elasticidad y la resistencia á la tracción de los metales, de alambres más ó menos finos, á los que hacían soportar pesos graduados y crecientes hasta determinar su rotura, midiendo las variaciones de longitud por medio de un catetómetro. Ahora bién, ya sabemos (363) que los alambres de hierro y acero presentan una resistencia bastante mayor que otras piezas de mayores dimensiones construídas con la misma calidad de metal, pero que han tenido que ser trabajadas á una temperatura más elevada que á la que se estira el alambre, y por consiguiente, los ensayos ejecutados sobre éste no darán á conocer la resistencia del metal con que se ha fabricado. Además, el poco diámetro

(1) *Sulla classificazione e sulla collaudazione dei ferri e degli acciai.*—L. Adamí, Colonnello d'Artiglieria.

de los alambres no permite apreciar bién las modificaciones que experimenta por la tracción.

Por estas razones las muestras que han de ensayarse por tracción, deben cortarse en frío de las piezas que se tratan de probar y darles con toda exactitud las dimensiones prefijadas, que deben ser tales que su sección no sea inferior á 50 m/m^2 .

Las muestras que se toman de planchas de palastro ó piezas delgadas, se construyen generalmente de la forma representada en la figura 122 de la lám. XVI, y las que se sacan de piezas más gruesas, se tornean en forma de barretas cilíndricas como la representada en la figura 123 de la lámina XVI.

389. Máquinas para la prueba por tracción.—Mientras la prueba de metales no se efectuaba más que sobre alambres de sólo algunos milímetros de sección, no se necesitaba de máquina alguna especial, siendo suficiente hacer actuar directamente los pesos colocándolos sobre un platillo suspendido del mismo alambre; pero desde el momento que las muestras sometidas al ensayo pueden tener una sección de 200 ó 300 m/m^2 , y una resistencia á la rotura hasta de más de 100 kilogramos por milímetro cuadrado de dicha sección, este método sería impracticable, pues la fuerza que habría que desarrollar se elevaría á cierto número de toneladas. Hay, por consiguiente, necesidad de aplicarla por el intermedio de palancas ó prensas hidráulicas, y medirla por diversos medios dinamométricos. De aquí ha resultado la necesidad de idear máquinas para esta prueba, las cuales son de tipos muy variados. En la imposibilidad de describirlos todos, nos limitaremos á explicar la del sistema de Maillard, que es la que en Francia han adoptado todos los establecimientos militares y la mayor parte de los particulares y en España la fábrica de cañones de Trubia.

390. Máquina del sistema de Maillard.—Esta máquina se compone de cuatro órganos principales.

1.º El aparato de tracción construído según las ideas

de Mr. Maillard, Coronel de Artillería de Marina y Director de la suprimida fundición de Nevers.

2.º El compresor de Desgoffes.

3.º El manómetro multiplicador de Galy-Cazalat, para la medida de las presiones, y

4.º El micrómetro de Dumoulin Froment, para medir los alargamientos.

391. El aparato de tracción del Coronel Maillard (figura 117, lám. XV), está instalado sobre un fuerte banco de fundición P bien asegurado al piso. En uno de sus extremos está colocado el cuerpo de bomba B , el cual se compone de un cilindro de fundición h , en el que se mueve un émbolo de acero h' impulsado por el agua comprimida en el espacio a . En el cuerpo de fundición están dispuestas dos empaquetaduras de cuero m y m' para que el agua no pueda escaparse, ni por el émbolo ni por su vástago V .

Sobre el cuerpo de bomba, hay un manómetro de Bourdon M , cuya comunicación con el agua comprimida en aquél, puede establecerse ó interrumpirse por medio de la llave K .

El cuerpo de bomba no está fijo sobre el banco de fundición, sino mantenido solamente por dos muñones horizontales que le permiten un pequeño movimiento oscilatorio.

En la otra extremidad del banco hay una tuerca de bronce y , atravesada por un fuerte tornillo de hierro X que se puede hacer avanzar ó retroceder por medio de un volante T .

Este tornillo, cuyo eje está en prolongación del de el cuerpo de bomba, supuesto horizontal, se une á un carro de corredera Z , de tal manera, que poniéndole en movimiento obliga á deslizar al carro sobre el banco, y se le puede transportar á diferentes distancias del cuerpo de bomba.

Sobre este carro, y á la misma altura que el primer cuerpo de bomba, reposa por dos muñones horizontales un segundo cuerpo de bomba C de bronce, que tiene la forma de un cilindro abierto por una de sus bases, y que puede, como el primero, oscilar alrededor de su eje de muñones.

Este cuerpo de bomba constituye un verdadero dinamómetro de agua; tiene por objeto dar á conocer constantemente por medio de la presión del agua encerrada en el espacio α' , la medida exacta de la tracción ejercida sobre la barreta sometida á la experiencia. A este efecto, se llena de agua de una vez para siempre, cerrándose la base libre con un disco de caoutchouc $c c'$ mantenido fijo sobre el borde por medio de una corona de bronce n . Un pistón de bronce H , se aplica sobre el disco de caoutchouc, y se reúne por dos muñones verticales á una fuerte brida de acero I , la cual abraza al cilindro de bronce, y recibe, por el intermedio de una pieza portamordaza k , una de las extremidades de la barra de ensayo. El depósito α' se pone en comunicación con un manómetro M' atornillado sobre él, y con un manómetro multiplicador de Galy-Cazalat, instalado en un sitio próximo á la máquina, cuya comunicación se hace por el intermedio del tubo de cobre l .

La barreta b que debe ensayarse se coloca entre los dos cuerpos de bomba, según su eje común, que es horizontal. Una de sus extremidades está unida al vástago del pistón de acero y la otra á los muñones del pistón de bronce. Con este objeto, las extremidades ó cabezas cilíndricas de las barretas (si son de la forma que indica la figura 123) son cogidas por las mordazas $q q$, que presentan en su interior una cavidad exactamente de la misma forma que las cabezas de dichas barretas, y en su exterior un filete de tornillo; después, estas mordazas se atornillan: una de ellas en la pieza k articulada por medio del perno r á la brida I , y la otra en otra pieza k' , articulada de la misma manera por medio del perno r' al vástago V del pistón de acero.

Quando la máquina funciona, el pistón de acero es empujado por el agua hacia dentro del cuerpo de bomba y trata de arrastrar á la barra. La otra extremidad de ésta tenderá á introducir el pistón de bronce H en su depósito, que permanece fijo sobre el carro Z . Pero el líquido resiste y la penetración del pistón no excede de algunas centésimas de mi-

límetro. Esta penetración tan pequeña es debida á la diferencia considerable que existe entre el diámetro del depósito, que es de 200 milímetros próximamente, y el del tubo manométrico.

Llegará á ser de unas 8 centésimas de milímetro para una elevación de un metro de la columna mercurial. Resulta de aquí que los frotamientos son, por decirlo así, despreciables, y que, por lo tanto, puede considerarse que la presión del agua en el cilindro de bronce, acusada simultáneamente por los dos manómetros, mide exactamente el esfuerzo de tracción á que está sometida la barra.

El sistema de articulación en el sentido horizontal y vertical empleado á ambos lados de la barra, impide toda flexión de ésta y asegura la horizontalidad de su eje, con lo que se elimina una grave causa de error.

Cuando las barretas tienen la forma indicada en la figura 122 se hace uso de otras mordazas en las que entran las cabezas de la barreta, que se aseguran á ellas con pernos pasantes.

392. El *compresor de Desgoffes* (fig. 118, lám. XV) se compone de un cilindro vertical de hierro colado *D* lleno de agua, en el cual se introduce un pistón *E* hueco de acero cerrado en su parte inferior, mientras que por la superior se termina en una tuerca con orejetas, que pueden resbalar entre dos montantes verticales *t t* que le sirven de guías y están hechos firmes al soporte *A*, donde va establecido todo el aparato. La tuerca está atravesada por el tornillo vertical *V* que tiene el mismo eje que el pistón y está puesto en relación, por el intermedio de un engranaje de tornillo sin fin *d*, con dos volantes manivelas *a b*. Moviendo estos volantes se hace girar al tornillo, y como no tiene movimiento de traslación, su tuerca, es decir, el pistón, sube ó baja según el sentido de la rotación.

Cuando el pistón desciende, comprime al líquido y esta presión se transmite directamente al cuerpo de bomba del aparato de tracción por el intermedio del tubo *g*.

393. El *manómetro multiplicador de Galy-Cazalat* (figura 119, lám. XV) es un aparato que tiene por objeto el medir presiones considerables por la variación de nivel al aire libre de una columna de mercurio de poca altura relativamente. El órgano principal es una cubeta metálica llena de mercurio en a' , sobre cuya superficie se apoya la base inferior de un pistón diferencial c' , cuya base superior q' , mucho más pequeña, está en contacto con el agua del tubo de cobre que comunica con el dinamómetro hidráulico C del aparato de tracción. Entre la base inferior del pistón y la superficie del mercurio, así como entre la superior y el agua, se hallan interpuestas dos láminas de caoutchouc.

La cubeta de mercurio comunica por un conducto lateral v' con la parte inferior de un tubo vertical de cristal j' abierto en sus dos extremidades como el tubo de un manómetro de aire libre. La altura de la columna mercurial en este tubo, debe hacer equilibrio solamente á $\frac{1}{n}$ de la presión ejercida sobre la base menor del pistón, siendo n la relación entre las superficies de las dos bases. El tubo manométrico está fijo contra una plancheta de madera que lleva á su lado una regla de latón graduada. Cada división corresponde á un esfuerzo de 100 kilogramos correspondiente á una presión de $0,^k 318$ por cm^2 sobre la superficie del pistón del dinamómetro hidráulico. El cero de la graduación coincide con el nivel de la columna mercurial cuando sobre la superficie del mercurio de la cubeta no se ejerce más presión que la que resulta del peso del pistón.

La posición del cero puede arreglarse por los tornillos h' que obran sobre el pistón y por los v' y n' que introduciéndose más ó menos, hacen variar el nivel del mercurio en la cubeta. Estos dos últimos tornillos tapan dos conductos por donde puede vaciarse ó introducirse el mercurio.

En la graduación trazada sobre la regla no se tiene en cuenta la depresión del mercurio en la cubeta; pero como esta depresión no llega nunca á $0,^m/m$ 2 el error que resulte

es del mismo orden que los de lectura, y puede despreciarse.

Se ha dicho precedentemente que un manómetro metálico de Bourdon M' estaba atornillado directamente sobre el cuerpo de bomba del dinamómetro; pero no sirve más que para comprobar el manómetro de Galy-Cazalat, que es el único empleado para la medida de las tracciones. Las indicaciones que da este último son muy precisas y el mercurio se eleva en el tubo manométrico de una manera regularmente progresiva y sin oscilaciones. Este resultado debe ser atribuído en gran parte al serpentín de cobre l que pone en comunicación la cubeta de mercurio con el líquido del dinamómetro del aparato de tracción. Los choques que puedan producirse en el interior del dinamómetro, por efecto de irregularidades en el movimiento del compresor, se apagan en el serpentín antes de llegar al manómetro.

394. *El micrómetro de Dumoulin Froment* (figuras 120 y 121, lám. XV).—Es un aparato compuesto de dos anteojos de ejes paralelos que va colocado á corredera sobre un soporte fijo de fundición, dispuesto frente á la barreta que se va á ensayar y separado del banco donde está instalado el aparato de tracción.

Cada uno de estos anteojos tiene un retículo, cuyo punto de cruce de los hilos coincide con el foco de su ocular, sirven para mirar dos trazos finos hechos en la barreta de ensayo que limitan la porción de longitud determinada, cuyo alargamiento se quiere estudiar. Delante de cada anteojo hay una luz de gas con un reflector para iluminar bién dichos trazos, los cuales, á pesar de ser tan finos, vistos con los anteojos, presentan una anchura bastante grande, para que sea preciso escoger uno de sus dos bordes, cuando vaya á ponerse en coincidencia con uno de los hilos del retículo.

Cuando el aparato está en su sitio, los ejes de los microscopios son perpendiculares al de la barreta y no dejan de serlo en los diferentes movimientos que se les imprime. Además, estos ejes tienen unos 30° de inclinación para que los observadores puedan mirar con comodidad.

La base c'' del aparato entra á corredera sobre la parte superior del soporte de fundición para poder colocarlo frente á la barra al empezar una operación, hecho lo cual, se asegura con un tornillo de presión. En su borde superior, debajo del soporte del anteojo de la derecha, lleva una graduación.

La pieza e'' va igualmente á corredera sobre la c'' y se la puede hacer deslizar por medio del volante d'' . Un nonius grabado en su borde permite apreciar el movimiento relativo de las dos piezas.

El anteojo b'' está fijo directamente á esta pieza e'' por medio de un soporte que forma cuerpo con ella, mientras que el a'' va colocado sobre otra m'' que puede resbalar sobre la primera, haciendo girar el tornillo g'' . Este movimiento se aprecia por una graduación que tiene la pieza e'' en su borde, y un nonius que lleva la m'' .

El soporte n'' del anteojo a'' se mueve también sobre la pieza m'' por medio de un tornillo f'' . Este tornillo, cuyo paso es de $0^m/m,5$, lleva un tambor h'' dividido en cien partes iguales, que se mueve frente á una reglilla ó índice de latón dividido en medios milímetros. Cada división del limbo equivale á un movimiento en dirección del eje del tornillo, igual á $0^m/m,005$, y cada división de la reglilla corresponderá á una vuelta entera del tornillo. El curso de la pieza n'' puede también apreciarse por un nonius que lleva en su canto, correspondiendo á una graduación practicada en la m'' , como representa la figura.

395. Modo de efectuar el ensayo de una barreta.—El ensayo de una barreta en la máquina de Mailard exige el concurso de cinco operadores: la persona que dirige el ensayo, que se hace cargo del anteojo a'' y lee los alargamientos; un ayudante, que se encarga del anteojo b ; otro encargado de observar el manómetro Galy-Cazalat, é inscribir al mismo tiempo las alturas mercuriales (ó esfuerzos de tracción), y los alargamientos correspondientes dictados por la persona encargada del anteojo a'' ; en fin, dos mozos que hacen girar los volantes del compresor.

La barreta que se trata de ensayar es, como hemos dicho, de la forma representada en la figura 123, y generalmente se le da una longitud de 15 á 20 centímetros, y una sección de $150^m/m^2$, $200^m/m^2$ ó $300^m/m^2$, para lo cual deben tener respectivamente un diámetro de $13^m/m$, 81 , $15^m/m$, 95 y $19^m/m$, 55 . La parte de la barreta comprendida entre las dos cabezas se tornea con el mayor cuidado, y su diámetro se mide antes de la operación con un cartabón que aprecie décimas de milímetro. Generalmente, á la parte de la barra cuyo alargamiento se quiere medir, se la da exactamente una longitud de $100^m/m$ que se marca con dos trazos finos hechos con una cuchilla muy afilada. Si la barreta es demasiado corta, se la da una longitud entre señales de 50 milímetros.

Las cabezas de la barreta se cogen con las mordazas, las cuales se atornillan al aparato de tracción, conforme se ha explicado. Valiéndose del tornillo X, se lleva á su sitio el carro Z (que ha debido aproximarse al cuerpo de bomba para colocar cómodamente la barreta), de manera que el mercurio del manómetro llegue al cero de su graduación. Después se verifica la horizontalidad de la barreta con un nivel de aire.

Ya no queda más que arreglar los anteojos. Su posición relativa sobre el soporte común e'' se fija desde luego por medio del tornillo g'' de tal modo, que sus ejes queden á una distancia de $100^m/m$ (ó en general igual á la distancia de las dos marcas de la barreta), cuando el cero del tambor que arregla el movimiento del antejo a'' coincida con el cero de su índice, ó lo que es lo mismo, cuando el cero del nonius n'' coincida con el cero de la graduación practicada en m'' .

Hecho esto, el primer ayudante fija la vista en el antejo b'' , y por medio del volante d'' hace mover los dos anteojos de modo que el cruce de los hilos del suyo esté siempre sobre uno de los bordes del trazo de la derecha; escoge el borde interior ó el exterior, según el que presente mayor claridad.

Cuando está establecida esta coincidencia, la persona encargada del anteojo a'' dirige la vista por él, y con el tornillo f'' hace que el cruce de los hilos coincida con uno de los bordes del trazo de la izquierda.

Durante toda la operación estas dos personas tienen cuidado de tener siempre el cruce de los hilos sobre el borde del trazo que escogieron al principio. Cuando la barreta está en su sitio, el manómetro y el micrómetro arreglado, y los cinco operadores en sus puestos, los dos mozos empiezan á hacer descender el pistón del compresor.

Se miden los alargamientos totales de la barreta, correspondientes á variaciones sucesivas de la columna mercurial, iguales á una ó dos divisiones de la escala manométrica. A este efecto, el segundo ayudante, instalado delante del manómetro, sigue atentamente la marcha ascensional de la columna de mercurio, y cuando ve que el nivel va á enrasar una división, la anuncia en alta voz; inmediatamente los mozos detienen el movimiento del compresor; el primer ayudante, por medio del volante d'' , que pone en movimiento el sistema de los dos anteojos, hace coincidir el cruce de los hilos del retículo del b'' sobre el borde de el trazo de la derecha. Cuando está establecida la coincidencia, la persona encargada del anteojo a'' , por medio del tornillo micrométrico f'' , hace coincidir el cruce de sus hilos con el trazo de la izquierda. Lee entonces el alargamiento sobre el tambor h'' y lo enuncia en alta voz. El segundo ayudante lo anota entonces en un cuaderno frente al número de la división que ha marcado el mercurio.

Los mozos vuelven otra vez al movimiento de los volantes para detenerse de nuevo cuando el segundo ayudante anuncia una nueva división de la escala manométrica.

La operación se continúa de este modo por lecturas é inscripciones sucesivas hasta la rotura de la barreta.

El segundo ayudante tiene además cuidado de anotar el nivel máximo de la columna de mercurio en el momento de la rotura, el cual muchas veces resultará entre dos divisiones.

Cuando se ha roto la barreta, se la retira de las mordazas, y se mide con el cartabón el diámetro mínimo d (fig. 125, lám. XVI). Se le inscribe en el cuaderno frente al diámetro primitivo, anotando igualmente el aspecto de la fractura.

Se disponen en seguida los dos trozos de la barreta en una ranura semicilíndrica practicada en una tabla, se aproximan hasta contacto las superficies de rotura, y se mide con las puntas del cartabón la distancia de los dos trazos para tener el alargamiento total después de la rotura.

396. Los resultados obtenidos pueden representarse por una curva, en la que se toman por abscisas cantidades proporcionales á los esfuerzos de tracción, y por ordenadas otras proporcionales á los alargamientos directamente observados. La figura 126 de la lám. XVI, representa los resultados de uno de los ensayos hechos en el Creusot con barretas tomadas de los cañones construidos en dicho establecimiento para nuestra Marina.

De estas curvas pueden deducirse, por medio del cálculo, las diversas constantes que caracterizan el metal.

El límite de elasticidad será la abscisa del punto para el cual la curva deja de coincidir con la tangente en el origen. Este límite puede determinarse también sin necesidad de trazar la curva, pues corresponderá á la carga á partir de la cual los alargamientos dejan de ser proporcionales á las tracciones ejercidas sobre la barra.

Cuando se opera sobre hierro, acero dulce y en general sobre metales, cuyos alargamientos permanentes sean mucho mayores que los elásticos y no interese, por otra parte, conocer más alargamiento que el de rotura, el ensayo puede efectuarse muy rápidamente sin hacer más observación que la del manómetro de Galy-Cazalat. En efecto, se ha observado que cuando la tracción se ejerce con regularidad, el mercurio asciende también regularmente en el tubo manométrico hasta llegar al límite de elasticidad; entonces se detiene un momento, y luégo continúa subiendo hasta poco antes de tener lugar la rotura.

Esta detención es debida al trabajo absorbido por el alargamiento que sigue al correspondiente al límite de elasticidad, que impide que el esfuerzo ejercido sobre la barra se transmita íntegro al manómetro. En virtud de la velocidad adquirida por el mercurio que asciende por el tubo manométrico, velocidad que para la misma marcha del compresor es tanto mayor cuanto menor es el módulo de elasticidad del metal, la detención tendrá lugar un poco después del límite de elasticidad; pero será fácil tenerlo en cuenta conociendo aproximadamente la calidad del metal con que se opera.

Para operar en este caso, en vez de mover á mano los volantes del compresor, se les pone en comunicación por medio de una correa con un árbol de transmisión de algún taller próximo. Colocada la barreta en su sitio y el nivel del mercurio en el cero de la escala manométrica, se hace marchar la máquina. Se observa detenidamente el movimiento ascensional del mercurio para poder fijar el punto en que se detiene momentáneamente ó cambia de velocidad, y éste será el límite de elasticidad, descontando 2 ó 3 kilogramos por milímetro cuadrado según la clase de metal; se anota igualmente la mayor carga que indique el manómetro, que será la resistencia á la rotura, y por último, cuando ésta ha tenido lugar, se mide el alargamiento total y el diámetro mínimo, que dividido por el primitivo, nos dará la extracción.

397. Circunstancias que modifican los resultados de la prueba de tracción.— Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción, no pueden considerarse como absolutos. Hay varias circunstancias que los modifican más ó menos profundamente. Mr. J. Barba, Ingeniero principal del Creusot, ha hecho un escrupuloso estudio de ellas consignado en una Memoria publicada en 1880 (1).

Sin entrar en las consideraciones desarrolladas por Mon-

(1) *Etudes sur la resistance des materiaux, extraits des Memoires de la Societé des Ingenieurs civils*, por J. Barba.

sieur Barba, vamos á enumerar las causas que más influencia tienen en los resultados de la prueba por tracción y á indicar la manera de obtenerlos comparables.

398. La forma y dimensiones de la barreta tiene una grandísima influencia sobre el alargamiento después de la rotura. Si la barreta fuese cilíndrica, sin cabezas, y se la sometiera á un esfuerzo de tracción en el sentido de su longitud, dicha barreta se alargaría, disminuyendo de diámetro y los alargamientos serían proporcionales á su longitud. Por lo tanto, el alargamiento por 100 de un metal, ensayado en estas condiciones, sería siempre el mismo, cualquiera que fuere la longitud de la barreta sometida al ensayo. Pero esto es impracticable, y para poder estirar la barreta, es preciso que ésta tenga unas cabezas que puedan ser cogidas con las mordazas de la máquina de tracción y en este caso varían completamente los efectos producidos por la tracción.

Las cabezas de la barreta, no sufriendo deformación apreciable, impiden que las fibras exteriores puedan acercarse paralelamente al eje y la barreta tendrá que tomar la forma representada con alguna exageración en la figura 124 de la lám. XVI, cuyo perfil son dos líneas curvas tangentes á la forma teórica de la barreta estirada sin cabezas.

Esta forma continúa acentuándose hasta tanto que la sección no se haya reducido á la que corresponde al máximo de resistencia para el esfuerzo aplicado á la barreta. Cuando llega á este estado, empieza la rotura; pero ésta no tiene lugar bruscamente, porque, á causa de la forma que ha tomado la barreta, las fuerzas que actúan en los diferentes puntos próximos á la sección por donde se ha de efectuar la rotura, son diferentes. Las fibras centrales, que son las más cargadas, serán las primeras que se rompan y, como consecuencia de esta rotura, las que las rodean se aproximarán entre sí y se estirarán muy considerablemente en las proximidades de la rotura. Esta continuará hasta llegar á la superficie, en cuyo caso será completa, y entonces presentará la

barreta la forma representada en la figura 125 de la lámina XVI.

La relación entre el diámetro d y el diámetro primitivo de la barreta, es lo que se llama *estricción*.

El alargamiento en la parte sometida á la estricción es mucho mayor que en el resto de la barreta y tanto más cuanto más gruesa es ésta, de lo cual debe resultar que barretas tomadas de un mismo metal, de la misma longitud y diferentes diámetros, darán un alargamiento por 100 tanto mayor cuanto más grande sea el diámetro; y si son del mismo grueso, el alargamiento por 100 aumentará á medida que disminuya la longitud.

Entre las muchas experiencias que podríamos citar en apoyo de lo expuesto, escogemos la siguiente, que además de demostrar la influencia del diámetro de las barretas sobre el alargamiento después de la rotura, manifiesta cómo varían los alargamientos y las estricciones en los diferentes puntos de una barreta sometida á un esfuerzo de tracción.

En un trozo de acero templado y recocido se cortaron tres barretas, se tornearon exactamente á las dimensiones prefijadas, se marcaron con trazos distantes entre sí 5 milímetros y se sometieron á la prueba de tracción, que dió los resultados indicados en el siguiente cuadro:

| Designación de barretas. | DIMENSIONES DE LAS BARRETAS | | | | | Límite de elasticidad. | Carga de rotura. | Alargamiento por 100. | Estricción. |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------|-----------------------|-------------|
| | Diámetro. | Distancia entre senales. | Distancia entre las cabezas. | Diámetro de las cabezas. | Altura de las cabezas. | | | | |
| | m/m | m/m | m/m | | | | | | |
| A | 13,81 | 100 | 125 | 20 | 10,0 | 36,0 | 65,3 | 16,86 | 0,724 |
| B | 15,95 | 100 | 125 | 28 | 12,5 | 36,0 | 65,0 | 18,53 | 0,746 |
| C | 19,55 | 100 | 125 | 28 | 12,5 | 36,7 | 65,0 | 10,04 | 0,792 |

Los alargamientos y reducciones de diámetro entre cada

dos divisiones, medidos después de la prueba de tracción están representados por curvas en las figuras 127, 128 y 129 de la lám. XVI.

En vista de esto se comprende perfectamente que el alargamiento por 100 no dará indicaciones más que aproximadas de la ductibilidad de un metal si al mismo tiempo no se especifica las dimensiones de la barreta que deba ensayarse. Cuando la prueba no pueda efectuarse con barretas de la dimensión determinada, se construirán otras de forma semejante, es decir, que tengan la misma relación entre el diámetro y la longitud, en cuyas condiciones darán el mismo alargamiento por 100; ó bien se hará el ensayo con barretas de una dimensión cualquiera, y del resultado dado por ellas se calcula el que habría dado la barreta tipo.

399. Además de la forma y dimensiones de las barretas hay algunas otras causas que hacen variar los resultados de la prueba por tracción. La principal de estas causas es la duración del ensayo, pues se ha comprobado por la experiencia que la tracción rápida da más resistencia y menos alargamiento que la tracción lenta. Por esta razón debe determinarse el tiempo que ha de durar el ensayo, expresando si ha de efectuarse por tracción continua ó por tracciones reiteradas. Sin embargo, esta causa es menos importante que la forma de las barretas.

400. Ensayos de compresión.—Del mismo modo que se determinan el límite de elasticidad, la resistencia y los alargamientos ocasionados por una fuerza de tracción, puede hallarse el límite elástico, la resistencia y los acortamientos producidos por un esfuerzo de compresión; lo único que hay que variar es el sentido de la fuerza que debe aplicarse á la muestra tomada del metal ó al objeto que quiere ensayarse.

Los ensayos por compresión pueden efectuarse con las mismas máquinas empleadas para los de tracción. Bastará para esto el cambiar las mordazas por otras que estén cruzadas; es decir, que la de la derecha, por ejemplo, tire del extremo izquierdo de la barreta é inversamente.

El ensayo por compresión no se usa para la clasificación de los metales. Se emplea, aunque raras veces, para experimentar los hierros colados que forman parte de algunas construcciones.

401. Ensayos de flexión.—Pueden tener dos objetos: ó bién determinar lo que puede doblarse un metal sin que se agriete ó rompa, en cuyo caso puede prescindirse de la fuerza empleada para producir dicho efecto; ó bién el conocer el mayor ó menor grado de flexión que sobre una pieza de forma determinada produce una fuerza aplicada en ciertas condiciones.

Lo primero puede servir para clasificar el metal, y es muy útil conocerlo cuando las piezas de hierro ó acero tengan que doblarse en frío para ciertas construcciones.

En el Creusot, para efectuar esta prueba en planchas de palastro, se cortan en un cierto número de ellas, tanto en el sentido de la longitud como en el del ancho, varias tiras de 250 milímetros de largo y 100 milímetros de ancho, que se doblan con precaución en su parte media hasta que la parte doblada forme con el resto de la plancha un ángulo variable con la calidad y grueso de ésta, así como también el radio del arco de unión de las dos partes debe ser función del grueso. Las planchas dobladas de este modo no deben presentar ninguna traza de grieta, exfoliación, etc.

El siguiente cuadro indica los ángulos que pueden doblarse y las diferentes calidades de planchas de hierro del Creusot.

| ESPECIFICACIONES | ANGULO DE FLEXIÓN EN FRÍO PARA LA CALIDAD | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | NÚM. 2. | | NÚM. 3. | | NÚM. 4. | | NÚM. 5. | | NÚM. 6. | | NÚM. 7. | |
| CALIDAD (1) | R=3 G. | | R=2,5 G. | | R=2 G. | | R=2 G. | | R=1,5 G. | | R=1,5 G. | |
| Radio del arco de unión en función del grueso. | | | | | | | | | | | | |
| Sentido de la flexión. | Longitudinal. | Transversal. | Longitudinal. | Transversal. | Longitudinal. | Transversal. | Longitudinal. | Transversal. | Longitudinal. | Transversal. | Longitudinal. | Transversal. |
| Grueso. | | | | | | | | | | | | |
| de 0 á 5 m/m | 100° | 150° | 80° | 100° | 55° | 75° | 50° | 70° | 45° | 70° | 40° | 60° |
| » 6 á 10 » | 135° | 165° | 120° | 160° | 90° | 120° | 65° | 90° | 55° | 75° | 50° | 65° |
| » 11 á 15 » | 160° | 170° | 150° | 165° | 120° | 140° | 100° | 130° | 90° | 120° | 60° | 70° |
| » 16 á 20 » | 175° | 175° | 160° | 170° | 150° | 160° | 140° | 160° | 130° | 150° | 90° | 120° |
| » 21 á 25 » | 175° | 175° | 170° | 175° | 160° | 170° | 150° | 165° | 150° | 160° | 135° | 150° |

No sólo las planchas se someten á la prueba del doblado en frío; las demás clases de hierros y aceros también se someten á esta prueba, tomando barras de dimensiones determinadas que deberán poderse doblar más ó menos, según la calidad del metal.

Para los pernos se hace el ensayo doblando en frío barras terrajadas á mano y no á máquina, pues los filetes obtenidos en el torno, son más limpios que los hechos á mano, y por lo tanto la prueba es menos fuerte. El perno roscado debe, si el hierro es de buena calidad, sufrir el doblado completo sin presentar grietas graves. El fondo de los filetes, debe abrirse lo menos posible en el vértice, y presentar un aspecto nervioso en las partes desgarradas por un estirado más grande.

402. Cuando quiera conocerse la resistencia de los metales á la flexión, se experimentan éstos en forma de barras que se sujetan por sus extremos, y en cuyo punto medio se aplica una fuerza normal á su longitud.

Según los casos, interesará conocer: bién el límite elásti-

(1) Véase la clasificación del párrafo 306.

co, bién la resistencia total á la flexión, bién la ságitá del arco formado por una fuerza determinada, ó la fuerza que es preciso aplicar para que la barra forme un arco, cuya ságitá esté dada. Todas estas medidas son fáciles de determinar.

Como la resistencia á la flexión depende, además de la calidad del metal, de la forma de la sección de la pieza, es muy común ensayar directamente ésta, sobre todo cuando son hierros ó aceros perfilados destinados á las construcciones. Una de las pruebas que en estos casos pueden hacerse es la siguiente:

Se colocan las piezas sobre dos apoyos, y aplicando cargas determinadas en diferentes puntos, las flexiones no deberán exceder á las dadas por la fórmula

$$f = \frac{(G + 2P)a^3}{24l} \times \frac{3a - 4l}{EI}$$

en la cual G , es el peso de la barra; P , el peso de la carga; a , la distancia de la carga al punto de apoyo más próximo; l , la longitud de la barra; I , el momento de inercia y E , un coeficiente en milímetros de tal modo, que para el acero: $E = 12 \frac{l}{\lambda}$ y para el hierro: $E = 6 \frac{l}{\lambda}$ en cuyas fórmulas λ representa el alargamiento de las barras por una tracción de 12 kilogramos por m^2 para el acero y de 6 kilogramos por m^2 para el hierro.

Los pesos se fijarán de manera que no resulte una tensión mayor de 12 kilogramos por m^2 para el acero, y de 6 kilogramos por m^2 para el hierro.

Las piezas deberán resistir este esfuerzo, durante diez minutos por lo menos, sin flexión apreciable después de la descarga. La flexión durante la carga deberá además para las piezas de acero, presentar una curva regular sin ondulaciones ni deformaciones (1).

(1) Del pliego de condiciones para la construcción de los puentes sobre el Issel, en Zutphen y sobre el Mosa, en Venlo (Países Bajos).

403. Ensayos al choque.—Un metal no susceptible de alargarse, no puede por menos de ser frágil; así es que la prueba de tracción indica desde luego en este caso que carece de resistencia al choque; pero la inversa no es cierta, es decir, que á mayor alargamiento no corresponde una mayor resistencia al choque. Está probado que el manganeso aumenta en el acero la facultad de alargarse, y lo hace más frágil por el temple. El fósforo, en ciertas proporciones, hace al acero muy quebradizo, y no disminuye, sin embargo, su alargamiento por tracción. En fin, sin explicar las causas, se ha comprobado repetidas veces que hay muchos aceros que, estando iniciada la rotura, son mucho más quebradizos que otros que en las pruebas de tracción han dado peores resultados. Por esto no puede prescindirse de ensayar al choque las piezas que puedan sufrir esfuerzos de esta naturaleza.

La prueba por el choque, se ejecuta colocando la pieza que se trata de ensayar sobre las aristas de dos soportes fijos á una determinada distancia y dejando caer sobre ella de una altura fija ó desde alturas variables y crecientes un cierto peso, que generalmente es una masa de fundición á la que se suelta, de modo que baje guiada por dos montantes verticales, pero que también puede ser la cabeza de un martillo de vapor. Debe prefijarse el número de golpes que la pieza ha de soportar, así como también la ságita de la flexión.

Para experimentar el acero empleado en la fabricación de cañones, se cortan barretas de sección cuadrada de 30 m/m de lado y de 200 m/m de longitud, y se someten al choque de una masa ó ariete de 18 kilogramos, cayendo desde alturas crecientes de medio en medio metro desde 1 $^{\text{m}}$ hasta 3 $^{\text{m}},50$, ó á un número determinado de golpes del mismo ariete, cayendo desde 3 $^{\text{m}}$ de altura.

La Artillería francesa tiene establecida para la recepción de los ejes de ruedas para afustes, además de la antigua prueba de columpio (*á l'escarpolette*) para ensayar los pezones (prueba que consiste en suspender el eje por dos cuerdas, elevarlo á una altura de 2 $^{\text{m}},11$ y dejarlo caer contra dos ci-

lindros de fundición dispuestos de modo que sólo los pezones choquen con ellos) las pruebas marcadas en el siguiente cuadro.

| PRUEBA. | Por 100 de ejes que han de probarse. | | Distancia entre los puntos de apoyo. | Peso de la masa que choca. | Altura de caída. | Fuerza de percusión. | Número de golpes. | Ságita de la flexión. | OBSERVACIONES. |
|---------------------|--------------------------------------|------|--------------------------------------|----------------------------|------------------|----------------------|-------------------|---|----------------|
| | N.º | m. | | | | | | | |
| Individual. | 100 | 1,00 | 300 | 3,00 | 2,299 | 1 | 6,7 | Ságita limitada Golpes en sentido inverso hasta enderezar el eje. Tres golpes en un sentido y tres en el opuesto hasta conseguir la rotura. | |
| A todo trance. . . | 2 | 1,00 | 300 | 3,00 | 2,299 | 0 | 8,0 | | |
| Complementaria | 2 | 1,00 | 300 | 3,00 | 2,299 | 0 | » | | |

Si en la prueba individual el número de ejes desechados por exceso de flexión pasa del 5 por 100, se desecha todo el lote; si no llega, se procede á la prueba á todo trance, y con los ejes que hayan resistido á esta prueba se efectúa la complementaria para formar idea de la calidad del metal y de su resistencia absoluta.

Las diferentes compañías de ferrocarriles exigen también para la recepción de los carriles y ejes para ruedas de vagones ó locomotora, una prueba de choque que se ejecuta sobre un 2 por 100 ó un 4 por 100 de las muestras presentadas, colocándolas sobre dos apoyos separados entre sí una distancia de 1^m á 2^m según las compañías, y dejando caer en su punto medio desde alturas variables generalmente de 2^m á 6^m, un peso que suele estar comprendido entre 300 kilogramos y 1000 kilogramos.

Comunmente se exigen para la ságita que mide la flexión, valores comprendidos entre 125^{m/m} y 300^{m/m}, después

de obtenida la cual, deberán darse igual número de golpes en sentido contrario hasta enderezar la pieza. Esta no debe presentar ningún indicio de rotura.

404. Ensayos de mandrilado.—Las pruebas de tracción sirven para calcular bastante aproximadamente la resistencia de un cilindro hueco sometido á una presión interior, si las barretas de ensayo se han tomado de este cilindro en la disposición conveniente; pero es fácil comprender que la prueba será más concluyente si todo el cilindro, ó por lo menos una parte de él, se somete realmente á una presión interior. La prueba se efectúa cortando en los cilindros rodajas, dentro de las cuales se introduce á golpes un mandril cónico.

La inclinación de las generatrices del mandril con el eje, debe haberse medido con mucha precisión. Sobre su superficie se marcan varias circunferencias que darán á conocer, según sea la que enrase con el borde de la rodaja, la dilatación interior de ésta. La fuerza F' que actúa sobre el mandril es fácil de determinar si se conoce el peso P que choca sobre él y la altura h de caída, pues entonces será

$$F = P\sqrt{2gh}$$

y conocida esta fuerza y el ángulo de las generatrices del mandril pueden calcularse las componentes que obran sobre la rodaja. Este ensayo no se ha generalizado porque es menos práctico y más costoso que el de tracción; pero sería muy conveniente adoptarlo para las piezas que, como los cañones, deben sufrir una presión interior por choque.

405. Influencia de la temperatura en el resultado de los ensayos—Siempre que sea posible, deberán ejecutarse los ensayos á una temperatura media, ó por lo menos evitar las temperaturas exageradamente bajas ó elevadas, pues estas temperaturas pueden tener influencia sobre el resultado de la prueba. El Sr. Webster presentó en 1880 al Instituto de Ingenieros civiles de Inglaterra, el resultado de algunas experiencias mecánicas hechas á las tempera-

turas de $+10^{\circ}$ y -21° centígrados; á esta última temperatura, la resistencia á la flexión disminuía en un 3 por 100 respecto á la obtenida á $+10^{\circ}$, y la resistencia á la rotura por el choque se disminuía: para el hierro, en el 3 por 100; para el acero fundido, en 3,5 por 100; para la fundición maleable, en 45 por 100; y para la fundición ordinaria, en 24 por 100. La elasticidad se disminuía respectivamente en un 18, 17 y 15 por 100; y en cuanto á la resistencia á la rotura por tracción, no se encontró diferencia sensible.

406. Examen de la fractura.—El examen de la fractura puede dar indicaciones muy útiles, no solamente sobre la naturaleza, sino también sobre la calidad de los metales. Para que pueda sacarse partido de este examen, es preciso que la fractura se haya hecho en frío, y que sea reciente. Hecha en caliente presentaría tintas irisadas que ocultarían completamente el color del metal; si hace tiempo que se ha hecho y no se ha tenido cuidado de preservarla del contacto del aire cubriéndola con una hoja de papel de estaño, estará empañada por la oxidación y habrá variado su verdadero aspecto. Cuando la fractura no sea resultado de alguna de las pruebas mecánicas que hemos mencionado, se practica haciendo con un cincel una incisión en una de las caras de la barra que se quiere partir, colocando esta barra sobre un yunque, de manera que la incisión se encuentre hacia arriba y en falso, y dando uno ó varios golpes en su extremo hasta que se parta.

En una fractura reciente, si los metales son de buena calidad, el color del hierro es gris claro; el del acero es generalmente más claro aproximándose al blanco, y el de la fundición varía por grados insensibles desde el gris negro al blanco argentino, lo cual ya sabemos que sirve para clasificarla.

La textura del hierro presenta: ya granos análogos á los de una piedra arenisca un poco basta, ó ya fibras como las plantas leñosas. En el primer caso, la textura se llama *granulosa* y en el segundo, *fibrosa* ó *nerviosa*.

Ambas texturas convienen á hierros de buena calidad. Sin embargo, la facultad de formar fibras al estirarse, es considerada como inherente á los buenos hierros, y á los que falta esta propiedad se les considera como de mala clase. Esto no es exacto, pues ya hemos visto al tratar de la forja, que el estado fibroso proviene de trabajar el metal á baja temperatura, en cuyo caso, por el choque del martillo y más aún por la presión del laminador, las moléculas se aplastan y deslizan unas sobre otras, formando fibras más ó menos largas; por consiguiente, un hierro mediano trabajado en estas condiciones, podría adquirir la textura nerviosa, mientras que un hierro muy bueno, muy epurado, no la adquirirá si se le trabaja á una temperatura elevada.

La textura del hierro es algunas veces *laminosa*, es decir, que presenta facetas planas semejantes á las caras de los cristales. Esta textura indica casi siempre un hierro de mala calidad.

Debemos hacer respecto á esto una observación que no carece de importancia; y es, que la textura varía, no solamente con la calidad del metal, sino también según la manera cómo se ha operado la rotura. Exceptuando el caso en que la textura sea laminosa, se puede en efecto romper una barra de hierro de manera que aparezca cualquiera que sea su calidad, ya la textura granulosa, ya la fibrosa. Cuando se rompe bruscamente una pieza de hierro, la textura será granulosa y cuando por el contrario la rotura sea gradual, aparecerá la textura fibrosa.

El acero, á no ser que sea muy dulce, no presenta casi nunca la textura fibrosa, sino siempre la granulosa de grano más fino que el hierro. Cuanto más fino y uniforme es el grano y más desgarrada aparece la fractura, tanto mejor será el acero.

Cuando la fractura del hierro presenta un aspecto de un blanco mate ó es brillante y ligeramente gris, hay probabilidad en favor de la buena calidad del metal. Si los granos son gruesos, blancos y brillantes, el hierro presenta poca te-

nacidad. Si la fractura es mate y oscura, se trabaja mal en caliente. Así, para que el hierro sea de buena calidad, es preciso que el color y el brillo estén en sentido inverso; color claro y mate ó color oscuro y brillante.

El hierro mal afinado se reconoce en las partes negras y mates que presenta su fractura.

El hierro quemado toma un tinte azul claro, ligeramente irisado.

Art. 2.º—Pruebas en caliente.

407. Ensayos de forja.—Tienen por objeto determinar si los hierros ó aceros de diferentes formas usados en el comercio, pueden resistir el trabajo de forja que requiere su empleo en las construcciones. Como este trabajo es muy variable, también lo son las pruebas á que se someten las piezas que han de soportarlo; así es que sólo nos limitaremos á reseñar algunas de ellas.

408. Cuando los hierros ó aceros están en forma de barras rectangulares, cuya sección esceda de 100 m/m de ancho por 25 m/m de grueso, se estira un pedazo de la barra hasta que quede de 60 á 70 m/m de grueso sobre 16 á 18 de espesor, ó bien de 90 á 100 sobre 18 á 20 .

Para hacer el ensayo con barras de las dimensiones de 70 m/m por 10 m/m , se abre en caliente con una tajadera una de sus extremidades en el medio de su anchura y en una extensión igual próximamente á vez y media dicha anchura y luego las dos partes separadas se rebaten sobre los costados de la barra (figura 130, lám. XVI). La hendidura no debe prolongarse y las dos ramas dobladas no deben presentar ninguna grieta.

La barra deberá haberse calentado al blanco naciente para que el ensayo se termine cuando esté todavía al rojo cereza.

Para hacer el ensayo con la dimensión de 100 m/m de ancho por 20 m/m de espesor, se hiende la barra en caliente

(fig. 131, lám. XVI) dividiéndola en tres ramas próximamente del mismo ancho. Se rebaten las dos ramas laterales sobre los costados de la barra como en el ensayo precedente, y la del medio se rebate también sobre sí misma. Las hendiduras no deben prolongarse ni abrirse grietas sobre las ramas dobladas. La barra se calienta también al blanco para terminar la prueba al rojo cereza.

Para completar el ensayo se taladra en caliente la barra del siguiente modo: Se caldea hasta el blanco y con un punzón cuyo extremo menor tiene próximamente $15^m/m$ de diámetro y cuya conicidad es bastante pronunciada, se hacen dos taladros (fig. 132, lám. XVI) lo más cerca posible del borde, de manera que el metal se hinche hacia afuera. Se agrandan los agujeros, cambiando alternativamente de lado hasta que la pieza esté al rojo naciente y entonces se dobla la barra por el medio de los taladros y no debe aparecer ninguna grieta.

Para los hierros redondos se hace la prueba análogamente y en las mismas condiciones de temperatura. La barra se hiende en una de sus extremidades y se rebaten completamente las dos ramas. Se abren en seguida dos agujeros t y t' (fig. 133, lám. XVI) que tengan sus ejes perpendiculares. Cada uno de ellos se hace en una ó dos caldas y cuando está á las dimensiones, se dobla la barra, sin calentarla, alrededor de un eje perpendicular al del agujero.

Los buenos hierros no deben grietearse y la finura de los contornos y aristas indican bastante bién la calidad del metal en caliente.

En vez de doblar completamente las dos ramas de la barra, puede hacerse también la prueba llamada del *gancho*, que consiste en doblarlas solamente en ángulo recto, después enderezarlas, luego volverlas á doblar y continuar así hasta que el pedazo se separe de la barra. El número de veces que haya que repetir esto será tanto mayor cuanto mejor sea la calidad del metal.

409. En el Creusot se someten los hierros perfilados á las siguientes pruebas:

Los hierros números 1 y 2 (1) no se someten á pruebas en caliente porque ya se sabe que son de inferior calidad.

Las piezas de \perp elaboradas con hierros de las calidades números 3 y 4 deben resistir las siguientes pruebas:

Se forma un manguito cilíndrico de modo que una de las caras del ángulo quede en el plano perpendicular al eje del cilindro formado por la otra cara, y cuyo radio sea igual á cinco veces la anchura de esta cara.

Se abre el ángulo hasta 150° .

Se cierra hasta 30° .

Con los hierros de \top de calidad número 4 se forma un semicilindro, replegando la barra sobre el lado de la cabeza de la \top , siendo su radio igual á cinco veces el ancho del lado que quede normal al eje.

Con los hierros de \perp de los números 5, 6 y 7 se forma un manguito como para los del número 3, pero de un radio igual á solamente dos veces y media el ancho del lado que queda paralelo á su eje.

Se abre el ángulo hasta 180° .

Se cierra hasta que las dos caras queden en contacto.

Para la misma clase de piezas en acero, la marina francesa exige las siguientes pruebas, análogas á las anteriores.

Con las piezas de \perp debe poderse formar un manguito cilíndrico, de un diámetro igual á tres veces y media el ancho de la cara que queda perpendicular al eje del cilindro, abrir el ángulo hasta 180° y cerrarlo hasta 0° .

Con las de \top , un cuarto de cilindro, arrollando el lado de la cabeza con un radio igual á cuatro veces la anchura del otro lado, y también cortar el lado medio con un tajo de una longitud igual á tres veces el ancho de dicho lado, y doblar en seguida una de las partes sobre sí misma, hasta formar un ángulo de 45° .

(1) *Clasificación de los hierros del Creusot*, párrafo 206.

Esta última prueba se ejecuta igualmente con los hierros de I.

410. Las chapas ó palastros de hierro, se prueban en el Creusot de la siguiente manera:

Las de hierro número 2, se doblan en forma de cilindro de un diámetro igual á veinticinco veces su grueso.

Con las de hierros de calidades superiores, se forma á la temperatura del rojo vivo, á martillo, un casquete esférico (fig. 134, lám. XVI) de un diámetro igual á treinta veces el grueso de la chapa, con un borde circular plano de una anchura igual á siete veces el grueso, y redondeada la unión de la parte plana con la esférica, con un radio igual al grueso. La altura de este casquete debe ser igual á cinco gruesos, para los números 3 y 4; á diez gruesos, para los números 5 y 6, y á quince gruesos para los números 7.

Las calidades números 6 y 7, caldeadas al rojo vivo, deben además poderse forjar por derecho, estirarse y en general sufrir el mismo trabajo que el hierro en barra, sin presentar ninguna grieta, exfoliación, ni ningún otro defecto.

La marina francesa tiene establecido para la recepción de las chapas de acero, las pruebas siguientes:

Con las chapas de un grueso inferior á 5 m/m , se forma á la temperatura del rojo vivo un casquete semiesférico de un diámetro igual á cuarenta veces el grueso, con un borde circular plano de una anchura igual á diez veces el grueso, y redondeados los ángulos con un radio igual al grueso.

Con las chapas de un grueso superior á 5 m/m , se formará:

- 1.º Un casquete semiesférico como el anterior.
- 2.º Una caja cuadrada siendo el lado de la base igual á treinta veces el grueso de la chapa, y la altura interior igual á diez veces dicho grueso.
- 3.º Se practica en el fondo de dicha caja un taladro circular de diámetro igual á veinte veces el grueso, con un borde en sentido opuesto de las caras de dicha caja, de altura igual á cinco veces el grueso.

411. Ensayos de soldadura.—Esta prueba está reducida á soldar entre sí á la temperatura conveniente, dos trozos del metal que se quiere ensayar y tratar, después de romper la pieza resultante, sometiéndola á esfuerzos de tracción, flexión ó choque en el sentido de la soldadura. La pieza deberá partirse del mismo modo que lo habría hecho no existiendo soldadura.

412. Ensayos de temple.—El efecto del temple se comprueba por medio de los diferentes ensayos mecánicos de tracción, flexión ó choque, con los que se aprecia si el metal es susceptible de modificar sus propiedades en el grado requerido.

La marina francesa exige una prueba de temple para la recepción de las piezas de acero que consiste en tomar una barra de 260 $\frac{m}{m}$ de largo, y 40 de ancho, caldearla al ce-reza oscuro y enfriarla en agua á 28°. La pieza se doblará después con una prensa por el medio de su longitud hasta que las dos partes dobladas queden paralelas, y el ángulo redondeado con un arco de radio igual á vez y media el grueso.

ÍNDICE

DE LAS MÁTERIAS DE QUE TRATA ESTA OBRA

| | |
|---------------|-------|
| PRÓLOGO. | Págs. |
| | v |

CAPÍTULO PRIMERO

NOCIONES PRELIMINARES

Artículo 1.º—Clasificación de los productos siderúrgicos.

| Párrafos. | Págs. |
|---|-------|
| 1 Consideraciones generales..... | 1 |
| 4 Distinción de los tres tipos férreos teniendo en cuenta su composición química..... | 3 |
| 5 Caracteres físicos distintivos del hierro, acero y fundición..... | 3 |
| 6 Maleabilidad..... | 4 |
| 7 Soldabilidad..... | 4 |
| 8 Fusibilidad..... | 5 |
| 9 Facultad de templarse..... | 5 |
| 11 Clasificaciones modernas..... | 6 |

Art. 2.º—Propiedades químicas del hierro, del acero y de la fundición.

| | |
|---|----|
| 12 Acción del agua..... | 8 |
| 13 Acción del aire..... | 9 |
| 14 Influencia de las sustancias extrañas..... | 9 |
| 15 Acción del carbono..... | 10 |
| 19 Acción del azufre..... | 14 |
| 24 Acción del fósforo..... | 15 |
| 26 Acción del silicio..... | 16 |
| 31 Acción del manganeso..... | 18 |
| 34 Acción del tungsteno y del cromo..... | 19 |

CAPÍTULO II

PRIMERAS MATERIAS

Art. 1.º—Menas.

| | |
|----------------------------------|----|
| 37 Óxido de hierro..... | 21 |
| 38 Peróxido anhidro..... | 22 |
| 44 Peróxido hidratado..... | 23 |
| 52 Carbonato de hierro..... | 25 |
| ANÁLISIS DE MENAS ESPAÑOLAS..... | 27 |

| Párrafos. | Págs. |
|---|-------|
| 57 Preparación mecánica de las menas..... | 32 |
| 58 Deslodamiento..... | 32 |
| 59 Calcinación..... | 33 |
| 62 Mezcla de menas diferentes..... | 36 |

Art. 2.^o—Fundentes.

| | |
|---|----|
| 63 Objeto de los fundentes..... | 38 |
| 64 Materias empleadas como fundentes..... | 38 |
| 65 Proporción en que deben emplearse los fundentes..... | 40 |

Art. 3.^o—Combustibles.

| | |
|---|----|
| 67 Leña..... | 42 |
| 70 Torrefacción de la leña..... | 44 |
| 71 Carbon vegetal..... | 44 |
| 75 Turba..... | 48 |
| 78 Lignito..... | 50 |
| 79 Hullas..... | 50 |
| 80 Clasificación de las hullas..... | 51 |
| 81 Hullas secas de llama larga..... | 51 |
| 82 Hullas grasas de llama larga..... | 52 |
| 83 Hullas grasas ordinarias ó de fragua..... | 52 |
| 84 Hullas grasas de llama corta..... | 53 |
| 85 Hullas secas antracitosas..... | 53 |
| 87 Preparación mecánica de las hullas..... | 54 |
| 88 Cok..... | 55 |
| 89 Diversos procedimientos de cokificación..... | 56 |
| 90 Cokificación en hornos..... | 56 |
| 91 Hornos de Smet..... | 57 |
| 93 Hornos de Appolt..... | 59 |
| 94 Antracita..... | 60 |
| 95 Combustibles gaseosos..... | 60 |

CAPÍTULO III

FABRICACION DEL HIERRO COLADO

Art. 1.^o—Generalidades sobre el procedimiento.

| | |
|--|----|
| 96 Manera de separar el hierro de la mena que lo contiene..... | 63 |
| 97 Agentes reductores que deben emplearse..... | 63 |
| 98 Aparatos en que se efectúa la operación..... | 64 |

Art. 2.^o—Descripción del horno alto.

| | |
|---|----|
| 99 Nomenclatura de sus diferentes partes..... | 66 |
| 100 Revestimiento interior y exterior..... | 69 |
| 101 Situación más conveniente del horno..... | 70 |
| 102 Cimientos..... | 70 |

Art. 3.^o—Teoría de los hornos altos.

| | |
|------------------------------|----|
| 104 Columna ascendente..... | 71 |
| 105 Columna descendente..... | 73 |

Art. 4.^o—Empleo del aire caliente.

| Párrafos. | Págs. |
|--|-------|
| 107 Economía debida al empleo del aire caliente..... | 75 |
| 108 Influencia del aire caliente sobre la temperatura de las diferentes partes del horno..... | 76 |
| 109 Acción que ejerce el aire caliente inyectado en el horno sobre la reducción de las menas y calidad de los hierros colados obtenidos..... | 77 |
| 110 Combustibles de que puede hacerse uso merced al empleo del aire caliente..... | 78 |

Art. 5.^o—Dimensiones y formas interiores de los hornos altos.

| | |
|---|----|
| 112 Dimensiones más convenientes según sea la naturaleza de las primeras materias que se traten, el volumen y presión del aire inyectado y la cantidad y naturaleza de los productos que se deseen obtener..... | 79 |
| 115 Del vientre..... | 80 |
| 116 Altura total..... | 80 |
| 117 Del tragante..... | 81 |
| 118 De los etalajes..... | 82 |
| 119 De la obra..... | 83 |
| 120 Del crisol..... | 83 |
| 121 Del perfil y dimensiones en general..... | 83 |
| 122 Clasificación de los hornos según sus dimensiones relativas.... | 85 |

Art. 6.^o—Aparatos accesorios.

| | |
|--|-----|
| 124 Fuelles ó máquinas sopladoras..... | 86 |
| 125 Portaviento..... | 89 |
| 126 Reguladores..... | 89 |
| 130 Toberas..... | 91 |
| 131 Buza..... | 92 |
| 132 Utilización de los gases combustibles que llegan al tragante..... | 93 |
| 133 Tomas de gas..... | 94 |
| 134 Aparato de tolva y cono..... | 95 |
| 136 Condiciones á que deben satisfacer los aparatos para la combustión de los gases procedentes de los hornos altos..... | 97 |
| 138 Aparatos para el caldeo del aire que se inyecta en los hornos altos..... | 99 |
| 139 Aparatos fundados en la conductividad.—Aparato de Wasse- ralfingen.—Aparato de Calder..... | 99 |
| 141 Aparatos fundados en la regeneración del calor.—Aparato de Couper.—Aparato de Whitwell..... | 102 |

Art. 7.^o—Trabajo del horno alto.

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 143 Manera de encender el horno..... | 106 |
| 144 Personal empleado..... | 109 |
| 145 Modo de efectuar las cargas..... | 109 |
| 146 Sangría..... | 111 |
| 147 Manera de apagar el horno..... | 113 |

Art. 8.º—Naturaleza de los productos.

| <u>Párrafos.</u> | | <u>Págs.</u> |
|------------------|---|--------------|
| 149 | Influencia del combustible..... | 114 |
| 150 | Variación de los productos según el grado de fusibilidad de las escorias..... | 116 |
| 151 | Influencia de la marcha del horno sobre la calidad de los productos..... | 116 |
| 158 | Clasificación de los hierros colados..... | 120 |

CAPÍTULO IV

FABRICACIÓN DEL HIERRO DULCE

Art. 1.º—Procedimiento reductor.

| | | |
|-----|--|-----|
| 160 | Generalidades..... | 123 |
| 162 | Método catalán..... | 125 |
| 163 | <i>Descripción de la forja</i> | 126 |
| 164 | <i>Trompa</i> | 128 |
| 165 | <i>Martinete</i> | 129 |
| 166 | <i>Combustible y menas empleados</i> | 130 |
| 167 | <i>Marcha del trabajo</i> | 131 |
| 168 | <i>Calidad de los productos</i> | 134 |
| 169 | Método de Chenot..... | 135 |
| 170 | Método de Gurlt..... | 138 |
| 471 | Otros métodos de obtención del hierro por el sistema de reducción..... | 140 |
| 172 | Stuckofen..... | 140 |
| 173 | Rotador de Siemens..... | 141 |
| 174 | Procedimiento de Du.Puy..... | 142 |

Art. 2.º—Afino del hierro colado.

| | | |
|-----|--------------------------------------|-----|
| 175 | Teoría del afino..... | 144 |
| 181 | Fundición maleable..... | 150 |
| 182 | Afino en forjas..... | 152 |
| 190 | Forjas inglesas de afino..... | 161 |
| 191 | Afino en hornos de reverbero..... | 164 |
| 192 | Descripción del horno de pudlar..... | 165 |
| 195 | Pudlaje seco..... | 169 |
| 196 | Pudlaje caliente..... | 172 |
| 197 | Pudlaje mecánico..... | 174 |
| 198 | Procedimiento de Lémüt..... | 174 |
| 199 | Horno de Pernot..... | 176 |
| 200 | Hornos rotatorios..... | 180 |

Art. 3.º—Operaciones mecánicas para el refinado de los hierros.

| | | |
|-----|------------------|-----|
| 203 | Cinglado..... | 187 |
| 205 | Empaquetado..... | 190 |

CAPÍTULO V

FABRICACIÓN DEL ACERO

Art. 1.º—Obtención directa del mineral.

| Párrafos. | Págs. |
|-------------------------|-------|
| 208 Método catalán..... | 198 |

Art. 2.º—Carburación del hierro dulce.

| | |
|---------------------------------|-----|
| 209 Cementación carburante..... | 199 |
|---------------------------------|-----|

Art. 3.º—Decarburación del hierro colado.

| | |
|---|-----|
| 218 Cementación oxidante..... | 211 |
| 219 Acero de forja..... | 212 |
| 220 Acero pudlado..... | 214 |
| 221 Procedimiento de Bessemer..... | 217 |
| 229 Defosforación..... | 231 |
| 230 <i>Defosforación en el Creusot</i> | 235 |
| 231 <i>Fundiciones empleadas</i> | 235 |
| 232 <i>Convertidores y su revestimiento</i> | 237 |
| 233 <i>Adiciones de cal</i> | 238 |
| 234 <i>Marcha de la operación</i> | 238 |
| 235 <i>Naturaleza de los productos</i> | 241 |
| 236 <i>Consideraciones generales</i> | 243 |
| 237 <i>Teoría de la defosforación</i> | 244 |
| 238 <i>Estado en que se elimina el fósforo</i> | 246 |
| 239 <i>Resuflación, sus inconvenientes</i> | 247 |
| 240 <i>Refosforación</i> | 247 |
| 241 <i>Oxidación del azufre</i> | 248 |
| 242 <i>Calor cedido al baño</i> | 249 |
| 243 <i>Composición de los hierros colados susceptibles de ser tratados en el convertidor básico</i> | 249 |

Art. 4.º—Fabricación del acero por la reacción entre el hierro colado y el hierro dulce.

| | |
|--|-----|
| 244 Procedimiento de Martín Siemens..... | 251 |
| 245 <i>Descripción del horno Martín Siemens</i> | 252 |
| 246 <i>Gasógeno</i> | 254 |
| 247 <i>Principales ventajas de los hornos Siemens</i> | 256 |
| 248 <i>Marcha de la operación</i> | 256 |
| 252 <i>Fundiciones tratadas</i> | 260 |
| 253 <i>Productos obtenidos</i> | 261 |
| 254 <i>Ventajas del procedimiento por reacción</i> | 262 |
| 255 <i>Defosforación en el horno de Martín Siemens</i> | 262 |
| 256 <i>Acero por reacción en el horno de Pernot</i> | 265 |
| 258 <i>Fundición tenaz</i> | 266 |

Art. 5.º—Clasificación de los aceros.

CAPÍTULO VI

TRABAJO DEL HIERRO COLADO, DEL DULCE Y DEL ACERO

Art. 1.º—Trabajo de la fundición.

| <u>Párrafos.</u> | <u>Págs.</u> |
|--|--------------|
| 261 Moldeo del hierro colado | 274 |
| 262 Cualidades que debe tener la fundición de moldeo | 274 |
| 263 Fundiciones de primera fusión | 276 |
| 264 Fundiciones de segunda fusión | 276 |
| 265 Aparatos para la fusión del hierro colado | 277 |
| 266 Cubilote | 277 |
| 268 Hornos de reverbero | 279 |
| 269 Confección de los moldes en general | 281 |
| 275 Colada | 288 |
| 276 Conclusión de las piezas moldeadas | 288 |

Art. 2.º—Trabajo de hierro.

| | |
|---|-----|
| 277 Forja | 289 |
| 278 Aparatos de caldeo.— <i>Fragua</i> | 290 |
| 281 Reverberos | 292 |
| 286 Hornos de gas | 296 |
| 291 Aparatos forjadores | 299 |
| 292 Martillo-pilón | 299 |
| 297 Laminadores | 303 |
| 315 Trabajo del forjador | 313 |
| 323 Soldadura | 317 |
| 324 Soldadura del hierro y del acero | 319 |
| 325 Forja de gruesas piezas | 320 |
| 329 Fabricación del palastro | 323 |
| 330 <i>Palastros gruesos</i> | 323 |
| 331 <i>Palastros finos</i> | 324 |
| 332 Planchas de blindaje | 325 |
| 333 Piezas construídas con barras arrolladas en espiral | 327 |
| 339 Fabricación del alambre | 330 |

Art. 3.º—Trabajo del acero.

| | |
|--|-----|
| 346 Defectos del acero fundido | 332 |
| 347 Procedimientos que pueden seguirse para combatir los defectos del acero fundido | 334 |
| 348 <i>Forja de los lingotes de acero considerada como medio de corregir su estado ampolloso</i> | 334 |
| 349 <i>Compresión del acero fundido</i> | 335 |
| 351 <i>Métodos químicos para obtener acero fundido compacto</i> | 337 |
| 354 Modificaciones de la textura del acero producidas por la acción del calor | 340 |
| 362 De la forja, considerada como medio de hacer variar la textura del acero | 343 |
| 364 Temple | 349 |
| 371 Recocido | 359 |
| 373 Doble temple | 366 |

| <u>Párrafos.</u> | <u>Págs.</u> |
|---|--------------|
| 375 Prácticas de las diversas operaciones que reclama el trabajo del acero | 368 |
| 376 <i>Colada de los lingotes de acero</i> | 369 |
| 379 <i>Enfriamiento del lingote</i> | 371 |
| 380 <i>Recalentado</i> | 371 |
| 381 <i>Forja</i> | 372 |
| 383 <i>Recocido después de la forja</i> | 373 |
| 386 <i>Temple y recocido</i> | 375 |

CAPÍTULO VII

PRUEBAS PARA LA CLASIFICACIÓN Y RECEPCIÓN DE LOS PRODUCTOS SIDERÚRGICOS

Art. 1.º—Pruebas en frío.

| | |
|---|-----|
| 388 Ensayos de tracción | 379 |
| 389 Máquinas para la prueba por tracción | 380 |
| 390 Máquina sistema Maillard | 380 |
| 395 Modo de efectuar el ensayo de una barreta | 386 |
| 397 Circunstancias que modifican los resultados de la prueba de tracción | 390 |
| 400 Ensayos de compresión | 393 |
| 401 Ensayos de flexión | 394 |
| 403 Ensayos al choque | 397 |
| 404 Ensayos de mandrilado | 399 |
| 405 Influencia de la temperatura en el resultado de los ensayos | 399 |
| 406 Examen de la fractura | 400 |

Art. 2.º—Pruebas en caliente.

| | |
|--------------------------------|-----|
| 407 Ensayos de forja | 402 |
| 411 Ensayos de soldadura | 406 |
| 412 Ensayos de temple | 406 |

FE DE ERRATAS

~~~~~

| Página. | Línea. | Dice.                   | Debe decir.                        |
|---------|--------|-------------------------|------------------------------------|
| 39      | 30     | <i>Si O<sup>9</sup></i> | <i>Si O<sup>3</sup></i>            |
| 39      | 35     | <i>Al<sup>23</sup>O</i> | <i>Al<sup>2</sup>O<sup>3</sup></i> |
| 71      | 24     | 194                     | 104                                |
| 141     | 14     | calentada               | calentado                          |
| 142     | 18     | ella                    | ellas                              |
| 169     | 2      | vaya                    | vayan                              |
| 221     | 5      | del                     | de                                 |
| 240     | 16     | elimine                 | elimina                            |

