

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

LOS ACEROS BESSEMER, MARTÍN, ELÉCTRICOS Y AL CRISOL

POR

GEORGES CHARPY

Correspondiente del Instituto de Francia, Subdirector técnico de la Compañía de Châtillon-Commentry y Neuves-Maisons.

El constructor que desea un acero conveniente para un empleo determinado, se ocupa frecuentemente en examinar los métodos de fabricación que han permitido obtener los distintos metales entre los que él debe elegir. Lógicamente parece que no deberían intervenir estas consideraciones, que debería ser suficiente con la determinación de las propiedades actuales de los metales. Al intentar añadir á ello una especie de certificado de origen, el constructor demuestra que no tiene completa confianza en la eficacia de los métodos de ensayos de los materiales, en la forma que actualmente se practican. Ahora bien, el complemento de seguridad buscado en esta forma, ¿está realmente bien obtenido y compensa los inconvenientes que trae consigo la limitación introducida en la gama de los productos utilizables? En el momento actual, en que la exigencia de materiales metalúrgicos de todas clases es considerablemente superior á la producción y que se impone en metalurgia, así como en todo lo demás, la investigación de los sustitutivos, puede ser interesante ensayar, aun á riesgo de enunciar algunas vulgaridades, reunir los datos y los argumentos que puedan permitir hacerse una idea relativa á este problema. Tal es el objeto de esta nota que se dirige á los consumidores de acero y no á los fabricantes, á los que el autor no tiene la pretensión de enseñarles nada relativo á estas materias.

Intentaremos establecer hasta qué punto puede contarse con una correlación entre el procedimiento, según el que un metal ha sido elaborado en la fábrica y la calidad de este acero. Examinaremos, por consiguiente, sucesivamente los dos términos de este problema.

Los principales métodos de fabricación exigen el empleo de la retorta Bessemer ó del horno Siemens-Martín, del horno eléctrico ó de la fusión al crisol, pero ninguno de estos procedimientos da lugar á un gran número de variantes.

Es preciso hacer primeramente dos grandes divisiones, según que las materias refractarias que constituyen las paredes, en contacto con el metal líquido, sean básicas (magnesio ó dolomía) ó ácidas (silicio). Estos dos tipos de cubiertas, que como es sabido conducen á reacciones muy distintas, se emplean tanto en las re-

tortas Bessemer como en los hornos Martín y en los eléctricos. En los hornos Martín se emplea á veces una tercera cubierta, llamada neutra, el hierro al cromo; los crisoles utilizados para la fusión del acero son casi siempre de silicio.

Los detalles de construcción de los aparatos empleados presentan en algunos casos divergencias bastante grandes que modifican considerablemente la marcha de las operaciones y conducen en esta forma á procedimientos verdaderamente distintos. En las retortas Bessemer, la insuflación por el fondo ó la insuflación lateral y superficial no pueden asimilarse completamente. En los hornos Martín se obtienen efectos muy distintos, según que los suelos estén más ó menos profundos, que las llamas de los quemadores obren sobre la superficie del baño metálico, con mayor ó menor presión ó, por el contrario, atraviesen el horno sin tocar al metal, según que el horno esté fijo ú oscilante, etc. Las diferencias en los hornos eléctricos son todavía mayores. Es preciso primeramente hacer la separación entre los hornos de inducción, en los que el metal está caldeado únicamente por las corrientes desarrolladas en su interior, sin tener contacto con cuerpo alguno que no sea el suelo refractario y los hornos en los que la corriente es conducida por electrodos, generalmente de carbón; en estos últimos será preciso también hacer la distinción entre los hornos de resistencia y los de arco, así como los tipos mixtos, hornos de corriente continua y de corriente alterna, trifásica, etc.

En fin, el modo de dirigir las operaciones puede dar lugar á un número de variantes casi ilimitado, de las que muchas se utilizan realmente en la práctica. Esta observación se aplica poco á los procedimientos Bessemer ó Thomas y Gilchrist, que funcionando sin otro medio de caldeo que el calor desprendido por las reacciones, deben por esto mismo ser practicadas en condiciones muy estrechamente definidas; pero el horno Martín es infinitamente mucho más flexible; los principales métodos operatorios que permite aplicar, y que sería muy largo de pretender enumerar completamente, constituyen una serie continua, desde el *ore process*, en el que se oxida directamente la fundición por el mineral, hasta la *fusión sencilla*, sobre suelo ácido, casi sin ninguna reacción, de materias que tengan previamente una composición muy próxima á la de la que se quiere realizar; en el *scrap's process* se funde directamente desperdicios de acero y de fundiciones de todas naturalezas: tanto se cargue con las materias metálicas una cantidad de cal suficiente para constituir una escoria que se deja hasta el final de la operación, como se limpie el baño varias veces evacuando la escoria para formar otra con materias nuevas; con el *procedimiento Talbot*, aplicable únicamente por medio de hornos oscilantes, se hace en el horno alternativamente

adiciones de fundición líquida y deducciones de una cierta fracción del baño metálico fundido, que es adicionado solamente con materias reductoras; en el *procedimiento Bertrand-Thiel*, el metal pasa sucesivamente por dos hornos, el primero que sirve principalmente para la oxidación del carbono de la fundición y el segundo para la depuración y desoxidación del metal; estos procedimientos *duplex* pueden variarse de muchas maneras, combinando, bien sea hornos oscilantes y fijos, bien retortas Bessemer ó Thomas y hornos Martín, etc.

Los hornos eléctricos, con su gran potencia de caldeo casi ilimitada y su gran facilidad de manejo, permiten todavía mayor número de variaciones que el horno Martín en las materias cargadas y en las reacciones buscadas en el curso de la operación.

En fin, aun en la fusión al crisol existen grandes diferencias en los métodos operatorios seguidos: en el procedimiento Huntsmann, el más antiguo de todos, se funde previamente hierro carburado por cementación, sin ninguna adición, y se mantiene el metal líquido durante varias horas para reducir por el carbono del acero parte del silicio del crisol; en el procedimiento Mushet se opera, aproximadamente, en igual forma, pero se hacen adiciones de carbón vegetal y de ferromanganeso; en el procedimiento Mitis se vierte el metal desde que está fundido, pero añadiendo aluminio para desoxidarlo; muy frecuentemente y, sobre todo, en las fábricas de acero americanas, se contentan con refundir en el crisol, con ó sin adición, metal Bessemer ó Martín y á veces este metal directamente deducido en el horno se vierte en estado líquido en los crisoles.

Por esta enumeración rápida y muy incompleta, se ve, por consiguiente, que no es por unidades, sino por decenas como es preciso contar los métodos de fabricación del acero que realmente pueden ser considerados como distintos. Añadamos á esto la influencia frecuentemente considerable de las circunstancias accesorias de la fusión (temperatura, disposición de los moldes, etc.), y la del cuidado y habilidad con que se manejen los aparatos. Existe acero Martín bueno y malo, porque con las materias primas más puras, los aparatos más perfeccionados y la mejor voluntad del mundo, un operador torpe ó inexperimentado podrá fabricar productos deplorables.

Estas simples observaciones son suficientes para hacer resaltar la dificultad, ó por lo menos la extrema complejidad del problema, que consiste en buscar una correlación entre la calidad de un acero y el método de fabricación que ha servido para obtenerlo.

Esta complejidad aparecerá igualmente si se trata de precisar un poco más el segundo término del problema y de definir lo que se entiende por calidad de un acero; en esto tampoco faltan las divergencia de puntos de vista y datan de antiguo; así en el *Tratado de Metalurgia del Hierro*, de Percy, aunque ya antiguo pero siempre interesante, el carácter relativo de la noción de calidad se halla claramente indicada en la frase siguiente: «Un acero excelente para un uso determinado puede ser muy malo para otro. No existe acero que sea igualmente apropiado para todos los usos. Por consiguiente, cuando se aplica al acero los calificativos de bueno y de malo, se hace con relación á las aplicaciones especiales á que se destina». Ahora bien, esta manera de ver no era unánimemente aceptada, porque en el mismo volumen se analiza ampliamente una Memoria presentada en la Academia de Ciencias por el Coronel Caron (entonces Capitán) y en ella se expone claramente un punto de vista completamente inverso. Comencemos, escribe el Capitán Caron, por decir lo que entendemos por acero de buena calidad:

«Tal como nosotros lo comprendemos, un buen acero debe servir igualmente para hacer una navaja de afeitar como para

hacer un yunque, un martillo como un buril, como una aguja, como un sable, como un muelle de reloj. Un metal mediocre podrá muy bien ser suficiente para hacer un yunque sin que pueda, sin embargo, producir buenos muelles, pero lo que nosotros llamamos acero de calidad superior, deberá poder servir indistintamente á cualquier fabricación y á cualquier uso.»

Nos ha parecido conveniente reproducir textualmente las líneas precedentes, aunque no sea más que para demostrar que en estas materias las opiniones más extraordinarias llegan á tener adeptos. Después de haber sido escritas, no puede decirse que el problema haya hecho grandes progresos y que se haya llegado á conseguir una definición muy precisa del sentido atribuido á la palabra *calidad*. Se ha tendido, sin embargo, de más en más á sustituir en la apreciación forzosamente vaga del resultado que da un acero cuando se le utiliza para hacer esta ó la otra pieza mecánica, esta ó aquella herramienta, la determinación de las propiedades susceptibles de expresión numérica y medidas por medio de ensayos especiales. Lo más frecuente es contentarse con determinar aquellas propiedades que corresponden á ensayos bien conocidos de tracción y de flexión por choque.

Puede considerarse como establecido que ninguno de estos ensayos hace resaltar diferencia sistemática entre los aceros obtenidos por distintos métodos de fabricación. ¿Podrá aparecer esta diferencia cuando se utilicen otros métodos de ensayos poco empleados hasta el presente, por ejemplo, los ensayos de choques repetidos, los de tracción ó flexión alternados, los relativos á la vibración y otras pruebas más aproximadas todavía á las condiciones prácticas de empleo y que no hagan más que transportar estas últimas al laboratorio? Esto no es imposible, pero este estudio largo y delicado no ha sido más que bosquejado hasta la fecha y no puede, por consiguiente, servir de base á una conclusión cualquiera.

Cuales son, pues, las ideas que parecen servir para edificar las opiniones que frecuentemente se oye enunciar, y que no son, por lo demás, muy precisas y muy concordantes (1) respecto al interés particular de algunos procedimientos, parece ser que pueden siempre conducirse á admitir que el método de fabricación puede desarrollar más ó menos ciertas causas que, sin ser puestas claramente en evidencia por los ensayos usuales antes citados, influyen, sin embargo, en el resultado que los metales dan en la práctica.

Estas causas son casi exclusivamente las siguientes: presencia en el metal de impurezas químicas, es decir, cuerpos extraños á los componentes del acero; oxidación del metal, presencia de gas disuelto, cuerpos no metálicos (escorias, etc.), que crean en el metal discontinuidades anormales, en fin, heterogeneidad del metal en general. Cuando se intenta definir las propiedades especiales á este ó al otro método de producción del acero separándose de la tradición, siempre se presenta á primera vista una de las causas que se acaba de enumerar. Ensayemos ahora dentro de estos distintos puntos de vista la comparación de los principales procedimientos de fabricación y la determinación de sus respectivas ventajas é inconvenientes.

Impurezas químicas.—Dice Caron, á continuación del párrafo que anteriormente hemos transcrito: «Si investigamos la composición de los aceros más apreciados por el comercio, hallamos sin excepción que son los más puros; no contienen nunca más que

(1) Howe, en su *Metalurgia del acero*, dice: «La creencia de la superioridad del acero al crisol de igual composición, reposa más bien sobre la observación general que sobre pruebas concluyentes directas, y es preciso confesar que la *calidad* de una gran parte de esta prueba general deja mucho que desear; esto es, por lo demás, casi inevitable: la cantidad de una prueba no tiene nada que ver con su calidad».

vestigios de silíceo, de azufre y de fósforo, y casi siempre pequeñas cantidades de manganeso que proviene de los minerales de que son originarios.»

En efecto, las impurezas varían mucho según las materias primas empleadas; antiguamente se decía que algunos minerales tenían una *propensión acerosa*; esta expresión, que se ha ridiculizado con frecuencia, quería decir, en una época en que se empleaba para el análisis químico, que estos minerales no contenían sustancias susceptibles de dejar impurezas nocivas en el acero laborado. Se ha llegado á conseguir introducir en los métodos metalúrgicos perfeccionamientos que en cierta medida permiten remediar la composición defectuosa de las materias primas, pero solamente en ciertos casos; las únicas impurezas que se sabe realmente eliminar durante el curso de la fabricación son el azufre y el fósforo, que, por lo demás, se encuentran entre los más frecuentes y los más nocivos. Desde este punto de vista, los procedimientos de fabricación del acero se dividen claramente en dos grupos: no siendo posible la desulfuración, y sobre todo la defosforación, más que sobre suelo básico.

Los procedimientos Bessemer ácido, Martín y horno eléctrico ácido, así como la fusión al crisol, no permiten, por consiguiente, eliminar el azufre y el fósforo; tienen, por consecuencia, el inconveniente de imponer el empleo de materias primas puras. Como estas materias no son siempre fáciles de conseguir, se presentará frecuentemente la obligación de hacer una operación previa de depuración que puede realizarse, bien sea en aparatos especiales: cubilote Rollet, hornos de afinar y de pudelar, etc., ó bien en un horno de suelo básico.

Resulta, pues, necesario emplear sucesivamente los dos procedimientos básico y ácido para aprovecharse de sus respectivas ventajas, y ésta es una de las razones de ser de los procedimientos *duplex* de que ya antes hemos hablado; se puede, por ejemplo, efectuar la defosforación en una retorta Bessemer básica y terminar la elaboración del metal en un horno Martín ó en un horno eléctrico básico ó también efectuar la depuración en un horno Martín básico y pasar en seguida el metal al horno eléctrico ó al crisol, etc.

Haremos observar que el horno eléctrico, como consecuencia de la elevada temperatura que desarrolla, parece ser un agente particularmente eficaz de depuración, sobre todo en lo que se refiere al azufre.

Estas variantes corresponden á conveniencias particulares y no modifican el único principio que consideramos aquí. Las reacciones que se producen en los distintos hornos no parecen modificar sensiblemente la cantidad de ciertos elementos (fuera del fósforo y del azufre), que se halla á veces en las fundiciones ó en el hierro viejo á fundir y cuya presencia se considera generalmente como nociva: tales son el cobre, el plomo, el estaño, etc.

En los ensayos corrientes se desprecia con frecuencia estos elementos, así como muchos otros, lo cual es un gran error, porque restos de algunos de estos cuerpos pueden tener mucha mayor influencia en la calidad del acero que el procedimiento empleado para la preparación del metal. Si no quiere uno limitarse á los ensayos mecánicos, ó, por lo menos, si se quiere poder llegar á la averiguación de la causa de un defecto reconocida en los ensayos mecánicos, de modo que pueda evitarse la reincidencia, el único modo de tenerlo en cuenta consiste en efectuar un análisis completo, pero ante esto se suele retroceder generalmente.

Sea lo que fuere, desde el punto de vista que nos ocupa en este momento, basta con llamar la atención respecto á la importancia capital que lleva consigo la elección de las materias pri-

mas empleadas, importancia que, relativamente á la calidad del acero, influye considerablemente más que el método de elaboración utilizado. Hace un cierto número de años los principales fabricantes de acero al crisol empleaban exclusivamente como materia prima los hierros de Suecia, previamente sometidos á cementación durante varias semanas, lo que, al mismo tiempo que la carburación del hierro, produce una depuración marcada, sobre todo en lo que se refiere al azufre. El hierro de Suecia, cementado, se fundía simplemente en el crisol y se obtenía en esta forma productos muy puros y que han adquirido una merecida reputación. La denominación de «acero al crisol», ó como se decía con frecuencia, de «acero fundido», llevaba consigo, por consiguiente, en realidad la designación de una materia prima de calidad superior, al mismo tiempo que la del procedimiento de fabricación. Para evitar todo equívoco es conveniente subrayar que en la actualidad esta práctica está lejos de ser general, y que lo mismo al crisol que en todos los demás aparatos metalúrgicos se funden materias de origen y calidad muy distintos. La etiqueta de «acero al crisol» no debe ser ya, por consiguiente, considerada como la significación compleja que se le atribuía en otros tiempos y como no facilitando ya más por sí sola la garantía que era justamente apreciada.

Los Sres. Carnegie y Gladwin, en su *Tratado del acero*, dicen: «Gracias al empleo de materias primas de excelente calidad es como el horno de crisoles ha podido conservar su puesto como el más conveniente y el mejor para la fabricación de los aceros para herramientas extra, y solamente copiando sus métodos podrá el horno eléctrico hacerle la competencia».

Y Ledebur, en su *Manual de Metalurgia del hierro*, al hablar del procedimiento que consiste en fundir al crisol una mezcla de acero y de fundición saca la conclusión: «Resulta de ello que por esta variante de fabricación es muy difícil obtener un metal de composición determinada y suficientemente exento de cuerpos nocivos».

La oxidación del metal es uno de los motivos que con más frecuencia se invoca para justificar las diferencias de calidad atribuidas á los productos de los distintos procedimientos de la fabricación del acero. Es muy cierto que la preparación del acero es un proceso oxidante y que la oxidación, bien que sea producida por el aire insuflado en la masa del metal por la acción de los gases de la llama ó por materias oxidadas mezcladas al metal, no obra exclusivamente sobre los elementos más oxidables, sino también sobre el hierro. Para luchar contra esta oxidación es por lo que se añade, bien sea durante el curso de la operación ó bien en el momento de vaciado, cuerpos reductores como silicio, manganeso, aluminio, etc. Felizmente, el óxido de hierro parece muy poco soluble en el hierro, pero puede hallarse en suspensión en el metal, quedar englobado en el momento de la solidificación y producir en esta forma uno de los efectos más nocivos. Es cierto que este inconveniente será tanto más de temer cuanto que las reacciones sean más vivas y el metal más agitado.

Desde este punto de vista los procedimientos Bessemer y Thomas están evidentemente en condiciones particularmente desfavorables. La insuflación enérgica producida á través del metal es origen de un óxido extremadamente dividido y que como consecuencia puede quedar durante mucho tiempo en suspensión en el metal, el que por lo demás es preciso vaciarlo rápidamente, puesto que las retortas no llevan consigo aparato de producción de calor.

La fusión sobre suelo básico conduce también á reacciones muy vivas, difíciles de moderar y que mantienen el metal líquido en un estado continuo de ebullición. En el crisol, por el contrario, el metal puede mantenerse durante muchas horas en el esta-

do de fusión tranquila y sin que se produzca en él más reacción que una lenta reducción de las materias silíceas del crisol. Se concibe que en esta forma puedan desaparecer completamente las materias oxidadas, y es ciertamente una condición favorable; también parece ser recomendable realizar esta fusión tranquila de *kill the metal*, como dicen los fundidores de Sheffield.

El mismo resultado puede obtenerse en el horno Martín ácido con masas considerables de metal. Todos los aceristas que han manejado el horno ácido, saben que con algunas vueltas de mano, de lo más sencillas, se puede mantener durante muchas horas el baño absolutamente tranquilo, no desprendiendo ninguna burbuja de gas, bajo una capa de escoria de un color verde claro, que no contiene, por consiguiente, hierro oxidado. En estas condiciones la desoxidación es seguramente tan perfecta como en el crisol; el horno funciona como un crisol de grandes dimensiones. Igual resultado puede obtenerse también con el horno eléctrico de inducción de suelo ácido, que no es más que un crisol de caldeo interior, aunque los fenómenos eléctricos produzcan un movimiento del metal, casi continuo; igualmente en los hornos de electrodo, el metal está siempre en movimiento, pero la atmósfera es precisamente reductora y como consecuencia no puede casi producirse la oxidación.

Los gases disueltos son considerados á igual título que la oxidación del metal y con menos precisión todavía. Es cierto que pueden extraerse gases del acero, especialmente en el caldeo en vacío, pero existen muy escasos datos sobre el origen de estos gases, el momento en que son absorbidos por el metal y la forma bajo que se le incorporan, así como el modo en que pueden influir sobre el acero modificando sus propiedades. Parece cierto que la solubilidad de los distintos gases en el acero sólido es muy pequeña, que una parte por lo menos de los gases recogidos por caldeo en vacío proviene de reacciones internas, y que no existe diferencia considerable y sistemática entre las proporciones de gas que se puede extraer de los aceros, de iguales composiciones y fabricados por procedimientos distintos. No habiendo sido hasta la fecha toda esta cuestión objeto de investigaciones, realmente concluyentes, no puede servir de apoyo más que para conjeturas. No es más, por consiguiente, que á título de probabilidad, que desde este punto de vista puede atribuirse ciertas ventajas, aun problemáticas, á los procedimientos que permiten realizar la fusión tranquila del acero, fusión al crisol ó sobre suelo ácido.

Las materias no metálicas en suspensión en el metal, aparte de los óxidos de hierro ó de metales mezclados, parece ser principalmente fuera de partículas de escoria ó de fragmentos refractarios, proviniendo del guarnecido de los hornos, silicatos ó siliciuros de hierro y de manganeso y sulfuros de dichos metales. El Sr. Hibbard propone designarlos todos bajo el nombre de *sonims*, formado con las primeras letras del título de un importante estudio que les ha consagrado: *Solid nonmetallic impurities in steel* (1.) El Sr. W. Rosenbain las llama «inclusiones de escorias» ó simplemente inclusiones. La existencia de estos *sonims* ó inclusiones es innegable y casi constante; el Sr. Barba, que explica su nociva influencia por una variación local y brusca de las tensiones interiores, producida en sus inmediaciones, termina su exposición diciendo (?): «Se ve como las tensiones interiores pueden llegar á ser importantes localmente y perjudiciales á la resistencia de los aceros que no son homogéneos; es muy triste decir que este es el caso general; son muy raros los metales homogéneos obtenidos por vía de fusión». Respecto á la misma existen-

cia de estas inclusiones, todo el mundo está de acuerdo, pero no sucede igualmente respecto á la importancia de la influencia que pueden ejercer. El Sr. Hibbard dice: «Los efectos de los *sonims* pueden variar en todos los grados, se les puede clasificar en la categoría de venenos de modo tal que la milésima parte del perjuicio que causan haría al acero impropio para todos los usos en que se emplea, ó bien pueden ser relativamente inofensivos. En la práctica su efecto no es nunca proporcionado á su cantidad, pero depende del estado en que existan. Hasta que no se sepa más respecto al particular no se puede decir gran cosa de su efecto sobre el producto terminado, desde el punto de vista cuantitativo». Por el contrario, el Sr. Stead opina que «la presencia de inclusiones en cantidad relativamente pequeña no produce un grave efecto en las propiedades del acero», y el Sr. W. Rosenbain (1), después de discutir las distintas opiniones formuladas respecto al particular, termina diciendo: «Aunque existe algo evidente para justificar la opinión de que las inclusiones son nocivas para el acero y pueden llegar en algunos casos á constituir defectos peligrosos, es preciso, por otra parte, obrar con cierta prudencia al atribuir las roturas efectivas á la presencia de inclusiones siempre que se reconozcan estas últimas en la pieza rota».

La divergencia de los puntos de vista es también muy marcada en lo que se refiere al método de formación de estas inclusiones y, por consiguiente, á las probabilidades que se tienen de evitarlas por ciertos procedimientos de fabricación. Según el señor Hibbard, «los *sonims* se forman por la acción de las adiciones desoxidantes (manganeso, silíceo, etc.), que se añaden al acero líquido antes de vaciarlo». Parecerá, pues, que la fusión tranquila debe ser una circunstancia favorable para su eliminación, pero esto aun no es evidente, y el Sr. Hibbard añade:

«Cuando el acero está muerto, es decir, cuando está en reposo en el horno y en las lingoteras, las condiciones pueden ser en un cierto sentido desfavorables al desprendimiento ulterior de los *sonims*, por razón de la falta de agitación.»

Según el Sr. Stead, los *sonims* se forman lo más frecuentemente por la oxidación que sufren los elementos del metal al contacto del aire que recibe forzosamente á lo largo de chorro al ser vaciado en la lingotera. No existiría, por consiguiente, ningún procedimiento que permitiese evitarlos completamente y la fluidez del metal, es decir su temperatura, desempeñaría un papel capital facilitando la reunión de las impurezas en la superficie. Desde este punto de vista, los procedimientos que dejan toda latitud respecto á la temperatura, como el horno eléctrico, corresponderían á las circunstancias más favorables. El crisol cuyas pequeñas dimensiones permiten manipulaciones muy esmeradas, sería, por otra parte, menos ventajoso por ser limitada la temperatura, debido al hecho de que el caldeo no se hace más que por transmisión á través de las paredes del crisol. La conclusión puede sacarse igualmente de la Memoria del Sr. W. Rosenbain: «Parecerá, por consiguiente, que nuestros conocimientos respecto al método de formación de las inclusiones encontradas en el acero no están lo suficientemente adelantados para permitir formular reglas definitivas para su mayor ó menor completa eliminación», y admitir como consecuencia que esta eliminación se consigue por ciertos procedimientos y no por otros.

Queda, por último, la *heterogeneidad*, en general, del metal, á la que se acude sin precisar siempre que se tropieza con una dificultad inexplicable. Si esta explicación se da con frecuencia en forma abusiva, es preciso reconocer, sin embargo, que la heterogeneidad es una de las causas más frecuentes de accidentes en

(1) Memoria presentada en 1912 en el Congreso de la Asociación Internacional de los Métodos de ensayo, en Nueva York.

(2) Barba, *De las tensiones interiores y defectos de homogeneidad en los aceros*. Informes de la Comisión francesa de los Métodos de ensayo, tomo VI.

(1) Rosenbain, *Slag inclusions*. Informe presentado en el Congreso de Nueva York de la Asociación internacional de los Métodos de ensayo, 1912.

el empleo del acero. En muchos casos de rotura anormal de una pieza, se halla un defecto local que frecuentemente es suficiente para explicar la rotura. Este problema de la heterogeneidad va por lo demás unido á los anteriormente examinados. Siendo el acero una aleación compleja de solidificación progresiva, existe en ello una heterogeneidad inevitable que, por lo demás, no parece perjudicial para los usos corrientes (1).

En resumen, no resulta fácil hacer resaltar diferencia claramente establecida, desde el punto de vista de la calidad de los aceros que provienen de los muy numerosos métodos posibles de fabricación.

Solamente dos puntos quedan fuera de duda: primeramente, que el empleo de los procedimientos básicos se impone siempre que se quiera conseguir una depuración química de las materias empleadas, pero teniendo en cuenta que esta depuración no será nunca más que parcial, y en segundo lugar, que cuando se dispone de materias puras es ventajoso mantener durante un cierto tiempo la fusión tranquila (*killing*) del acero, no pudiendo obtenerse este resultado más que en el crisol ó sobre suelo ácido, pero no resultando de ningún modo obligatorio y, por consiguiente, garantizado con el empleo de estos métodos de fabricación.

La indicación del procedimiento de fabricación seguido no puede, por consiguiente, dar al industrial que tiene que emplear el acero más que una seguridad muy relativa; el objeto que debe alcanzarse es definir con bastante exactitud las propiedades necesarias para cada empleo, para que por el constructor puedan verificarse previamente esas propiedades; al intentar investigar cómo ha operado el metalúrgico, se obra un poco como los gastrónomos que no pueden comer un plato que les agrade sin llamar en seguida al cocinero para que les dé la receta; también es preciso que esta receta sea verídica y completa, no limitándose exclusivamente á indicar el diámetro de las cacerolas y el tipo del horno.

Las designaciones breves frecuentemente empleadas de acero Martín, acero al crisol, etc., están por sí mismas casi desprovistas de todo significado y no pueden servir más que para diluir las responsabilidades. Sería preciso, por lo menos, que se completasen con la indicación precisa y detallada de las materias primas empleadas, verificaciones practicadas, transformaciones de toda naturaleza que hayan tenido que sufrir, y aun con esto faltaría, además de la dificultad real que presentaría la interpretación de estos datos, tener en cuenta la habilidad con que se hayan dirigido las operaciones.

No hablamos aquí más que del metal en el estado de lingotes de acero, dejando de lado la influencia de todas las transformaciones que puedan sufrir ulteriormente antes de llegar al estado del producto definitivo y que pueden considerarse como casi independientes del método de obtención del lingote. Todo lingote de acero ó todo grupo de lingotes de aceros idénticos que provienen de una misma fundición, posee una individualidad, un conjunto de propiedades, ó según la expresión recomendada por el Sr. Urbain (2), «modos de conducirse» que se pueden considerar como constitutivos de su *calidad* propia y que resulta del con-

junto de las circunstancias y de las transformaciones que constituyen su *historial*.

En lugar de intentar condensar este historial en dos palabras vagas ó incompletas, parece más lógico esforzarse en definir la calidad resultante y la posibilidad de utilización en el empleo que se necesite, por un examen minucioso y atento del producto en sí mismo.

Las pruebas actualmente usadas no parece que sean siempre suficientes para ello, pero es fácil aumentarlas y completarlas, aproximándose todo lo posible á las circunstancias de utilización directa. Cualquiera que sea el empleo práctico, desembarazándolo de los accesorios inútiles, simplificándolo, constituyéndolo, por decirlo así, puede ser transformado en un método de prueba aplicable previamente y en el laboratorio y se conseguiría en esta forma datos mucho más seguros que con la colocación de una etiqueta cualquiera, datos que, por lo demás, se precisarán gradualmente y que en vez de inmovilizar los métodos de elaboración tenderán á su perfeccionamiento.

II.

Ferrocarril directo de Madrid á Valencia.

POR

D. MANUEL BELLIDO

Ingeniero-Jefe de Caminos, Canales y Puertos

(CONTINUACIÓN) (1)

OBRAS DE FÁBRICA

Para dar paso á las pequeñas corrientes de agua que se cruzan en las depresiones del terreno, pequeños barrancos, arroyadas, etc., así como á las acequias, regueras y demás servicios de riego, se han proyectado diversos modelos, que se presentan agrupados según la clasificación usual, á saber: tubos, sifones, tajeas, alcantarillas y pontones.

Tubos.—Los tubos son todos de sección circular, con un diámetro de 60 centímetros, y se proyectan de hormigón, con 20 centímetros de espesor. En los frentes se hace un pequeño murete de fábrica para recoger mejor las aguas y evitar que descarnen los extremos del tubo.

Sifones.—Los sifones son de cuatro modelos distintos, adaptables á diversas alturas de la corriente de agua sobre la rasante de la explanación.

En todos ellos el conducto inferior, en donde el agua se pone á presión, se proyecta de hormigón; los muros de los pozos de mampostería ordinaria hidráulica y las losas de coronación de sillería recta.

El tubo de hormigón tiene 60 centímetros de diámetro y los pozos, de sección cuadrada, de 60 centímetros de lado en el modelo núm. 1 y de un metro en los otros tres modelos.

Tajeas.—Para las tajeas se presentan 14 modelos diferentes con luces desde 60 centímetros á un metro. Los dos primeros modelos son de tajeas abiertas, que hay que emplear cuando la cota de terraplén es muy pequeña ó cuando la explanación va en desmonte y la poca importancia de la corriente de agua no justifica una obra especial de otra naturaleza; el modelo núm. 2 se diferencia del primero solamente en que tiene en uno de los lados

(1) El Sr. Osmond dice: «Se sabe actualmente que los metales no son y que, en general, no pueden ser homogéneos. Este hecho no se tiene en cuenta en muchos pliegos de condiciones formulados en una época en que nuestros conocimientos sobre la materia eran mucho menos extensos; sus exigencias se tienen sistemáticamente lo más próximo del ideal». Osmond, *Introducción para el conocimiento de los metales*. Informes de la Comisión francesa de los Métodos de ensayo, tomo VI.

(2) En un interesante artículo de la *Revista Científica* (28 Julio-Agosto 1917), el Sr. G. Urbain hace justamente observar que la palabra «propiedad» frecuentemente empleada en el lenguaje científico (propiedades físicas, propiedades químicas, etc.) no corresponde bien á la idea que se quiere expresar y propone la palabra «comportamiento» ó «modos de conducirse».

(1) Véase el número anterior.