

## Capítulo V

### HIERROS MALLEABLES.-

**GENERALIDADES.-** El hierro de primera fusión se somete a procesos de refinación, con el objeto de disminuir su contenido de carbón y otras impurezas, aumentando al mismo tiempo su punto de fusión y convirtiéndose en productos que se caracterizan por su maleabilidad y que se llaman por esto Hierros Maleables. Sin embargo hay que aclarar que su maleabilidad es directa, es decir que no proviene de algún tratamiento especial, porque también hay hierros de fundición (blanca), que pueden hacerse maleables y que se distinguen con el nombre de hierros de fundición maleable. Así mismo, ciertas aleaciones de acero no son maleables más que dentro de ciertos límites de temperatura.

**CLASIFICACION.-** Se dividen en dos tipos principales: 1.- Hierros dulces y 2.- Aceros. Tanto unos como otros pueden obtenerse al estado sólido o al estado líquido, llamándose en el primer caso Hierros ó Aceros Soldados, Batidos o Forjados y en el segundo Hierros y Aceros de Fusión ú Homogéneos.

Los hierros dulces se caracterizan por su bajo contenido en carbón (varía de .04 a .06%) y de otras impurezas, considerándoseles como los hierros más puros. Son más blandos que los aceros, tienen un punto de fusión más elevado, (mayor de 1,500°C.) y en general no alteran sus propiedades con la velocidad de enfriamiento, sin embargo, los límites de separación con los aceros no están bien definidos, por lo cual se acostumbra distinguirlos por su resistencia a la tensión, llamándose hierros dulces a los que resisten menos de 45 kgs./mm<sup>2</sup>.

Los aceros presentan mayor contenido de carbón (0.06 á 1.5) y menor punto de fusión (1,400 á 1,500°C.), por su mayor contenido de impurezas. Se caracterizan principalmente porque pueden sufrir alteraciones en sus propiedades (endurecimiento), cuando varía su velocidad de enfriamiento o se les somete a tratamientos térmicos especiales (templado, recocido, etc.) y sobre todo por tener una resistencia mayor de 45 kgs./mm. Los aceros son los más importantes en la práctica y presentan una gran variedad de tipos, pudiendo clasificarse de distintas maneras. De acuerdo con su contenido de carbón en: Aceros de bajo carbón, o aceros suaves o blandos (0.05 á 0.15%), Aceros medios (0.15 á 0.3%, aceros semiduros (0.3 á 0.6%) y aceros duros o de alto carbón (0.6 á 1.5%).

Según el uso a que se destinan de acuerdo con sus propiedades, pueden considerarse; Acero para rieles, Para maquinaria, Para resortes, Acero estructural, etc. Según el método de obtención puede llamarse: Acero Bessemer, Acero Duplex, Acero Eléctrico, Acero de Cementación, etc. Las aleaciones especiales de acero pueden nombrarse según el elemento aleado que predomine, por ej.: Acero Manganeso, Acero Cromo, etc. y según su proporción con nombres especiales.

### HIERRO DULCE.-

**GENERALIDADES.-** El hierro dulce constituye como ya se dijo la forma más pura de hierro, cuando se obtiene por los mismos métodos que los aceros se le llama "Hierro de Lingote" y cuando se obtiene el estado sólido se le llama "Hierro de Pudelado" en su variedad principal o también hierro soldado o forjado. La obtención de los primeros se lleva a cabo por los mismos métodos que los ace

ros, por lo cual solo se estudiarán los Hierros de Pudelado o Hierros Forjados. En realidad casi se les ha sustituido por los aceros de bajo carbón, constituyendo actualmente solo un 2% de la producción anual de hierro y acero, sin embargo, por sus buenas propiedades de soldado y por su resistencia a la corrosión, se emplean para tubos soldados, lámina para techos, cadenas de grúa, áncoras, remaches y como base para la obtención de aceros para herramientas.

Históricamente el hierro de pudelado tiene importancia por haber sido obtenido con anterioridad al acero. El proceso fué inventado en 1,784 por Cort y mejorado en 1,830 por Hall.

Se considera "como un material ferroso formado por la solidificación de una masa de partículas pastosas de hierro casi puro, sin subsecuente fusión, a la cual se ha incorporado uniformemente una pequeña cantidad de escoria".

**MÉTODOS DE MANUFACTURA.**- Dos son los métodos de mayor importancia. El Proceso de Pudelado y el Proceso de Astone-Byer.

**Proceso de Pudelado.**- Se emplea hierro bruto de fundición alto en silicio (1 a 1.5%) y bajo en fósforo y azufre. La operación se desarrolla en un horno de Reverbero, de capacidad generalmente de 3,000 lbs. por día, provisto de un pequeño crisol con el fondo y las paredes recubiertas con una capa de 2 a 3" de óxido de hierro, con una pequeña cantidad de escoria de la operación anterior, y de un gran enrejado para la entrada de suficiente aire. La operación se desarrolla en cuatro períodos: La materia prima se funde y se cubre con una delgada capa de escoria (período de fusión), empezando la oxidación del silicio y otros elementos presentes, una vez fundida la carga, se agita con espátulas (Período de aclarado o refinación) para aumentar la velocidad de las reacciones, de esta manera se eliminan, el silicio en forma "silicato de hierro, (principal componente de la escoria), parte del manganeso y una porción de fósforo y azufre. Para aumentar la oxidación suele añadirse también óxido de hierro. Terminada la oxidación, se eleva la temperatura (Período de alta ebullición) y se añade escoria u óxido de hierro para eliminar el carbón, el cual pasa a través de la escoria en forma de óxido de carbono, que se quema en la superficie, formando un gran número de llamitas que se llaman "candiles de pudelado", a medida que se elimina el carbón, aumenta el punto de fusión del hierro, por lo cual la masa se va haciendo menos fluida, hasta que se empiezan a formar pequeños cristales de hierro, los cuales se van soldando entre sí (período de solidificación) hasta formar grandes bolas que cuando son suficientemente compactas, se sacan del horno y se llevan a una serie de cilindros rotatorios o se golpean para eliminar el exceso de escoria (cintadura) y se llevan más tarde a los laminadores. Las bolas de pudelado pesan de 90 a 100 Kilos.

**Proceso ASTONE.**- Consiste en vaciar hierro fundido (1,500°C.) de composición apropiada, sobre escoria de silicato de hierro (1,260°C.) previamente preparada fundiendo óxido de hierro y arena sílice en hornos de hogar abierto. La operación se desarrolla en recipientes provistos de movimiento en todas direcciones para facilitar el mezclado. Durante este proceso el hierro añadido se solidifica en pequeñas partículas, debido a la mayor temperatura de la escoria, desprendiendo gran cantidad de gas en forma de pequeñas explosiones. Las partículas de hierro se soldan entre sí formando una masa que se va al fondo en forma de bolas semejantes a las de pudelado. Estas bolas, pesando de 3,000 a 4,000 Kgs. se llevan a prensas para eliminar el exceso de escoria y se someten a laminado. El hierro utilizado se obtiene fundiendo hierro bruto de grado Bessemer

en hornos de cúpula para eliminar el azufre, con adición de carbonato de sodio y oxidándolo más tarde en un Horno Bessemer.

**PROPIEDADES.**- Sus propiedades se asemejan a la del hierro puro, por su bajo contenido de impurezas. Se caracterizan por la presencia de granos de ferrita (Pag.59) más o menos rodeados de filamentos de escoria, en forma de líneas irregulares de varios gruesos, que le dan estructura fibrosa característica, diferenciándose por esto de los hierros de lingote y de los aceros de bajo carbón, probando su ruptura en probetas entalladas. Se diferencian también de los aceros por su bajo contenido en Manganeso, presentan un elevado punto de fusión (mayor de 1,500°C), una gran resistencia al choque y una gran tenacidad. Se pueden soldar por cualquier método, sólo que requieren una temperatura elevada, teniendo la ventaja de que la escoria actúa como fundente, produciendo una soldadura uniforme. Esta propiedad se debe a la gran plasticidad que adquiere cuando se le calienta. En presencia del aire se cubre de una capa de óxido que dificulta la unión, por lo cual se le añade algún fundente para disolverlo. Son fáciles de trabajar en frío o en caliente y no son alterados por los cambios de calor (no-templables).

Químicamente son fácilmente atacados por los ácidos clorhídrico y sulfúrico, sobre todo diluidos, dejando bandas de escoria sin atacar, lo cual constituye uno de los mejores métodos de reconocimiento. Al igual que el acero y hierro de lingote se oxidan con el aire húmedo y en agua que contiene oxígeno disuelto, acelerándose esta oxidación por la presencia de electrólitos. El proceso de oxidación probablemente es de naturaleza electrolítica (actuando el hierro como ánodo y la impureza como cátodo), formándose hidróxido férrico  $Fe(OH)_3$ , el cual se deshidrata parcialmente y se precipita sobre el hierro metálico en forma de Orín ( $3 Fe_2O_3 \cdot H_2O$ ) que es una sustancia porosa, poco adherente, que no se protege al metal (como en el caso de otros metales, plomo, zinc, etc.), por lo cual el ataque continúa mientras haya metal. Para proteger al hierro contra este ataque se cubre con una capa de Zinc (galvanizado) o estaño (estañado) o también de un esmalte (Peltre) o de una capa de aceite, grasa o pintura. Las tuberías enterradas se protegen empleando un metal que sustituya al hierro como ánodo, en forma de barras, principalmente Magnesio ó zinc, o descargando la corriente de tiempo en tiempo, a través de la tubería.

#### ACEROS.-

**GENERALIDADES.**- Los hierros dulces y otras formas de hierro muy puros, son demasiado suaves y dúctiles para muchos de los propósitos y por otra parte los hierros de fundición son demasiado duros y frágiles, por lo cual no se pueden trabajar, de tal manera que en la práctica el 80% de la producción de hierro bruto de fundición se destina a la obtención de productos intermedios, que reciben el nombre de Aceros. Se consideran como tales, aleaciones de hierro y carbón maleables cuando menos dentro de cierto grado de temperatura, capaces de obtenerse por enfriamiento de una masa inicialmente maleable o de endurecerse por súbito enfriamiento, o de las dos cosas (H. M. Howe). Se distinguen además de las propiedades ya mencionadas (Pag.49) por que generalmente son altos en Manganeso (Sauveur). Esto es por lo que se refiere a los aceros ordinarios, ya que hay otro grupo que comprende aleaciones de hierro y carbón con otros elementos, considerándose como aceros especiales o aleaciones de acero, que pueden dividirse en aceros de aleación baja, media, semi-elevada y elevada.

**MANUFACTURA.**- Los métodos de obtención del acero o procesos de

aceración pueden ser: 1o. por carburación del hierro dulce y 2o. por refinación del hierro bruto de fundición, ya sea solo o mezclado con desperdicios de hierro (chatarra). En el primer caso se encuentran dos métodos que presentan modernamente poco interés práctico y que son más bien históricos. El proceso de la Cementación, que produce acero carburizado sin fusión, llamado Acero de Cementación y el Proceso de Crisol, en el cual si se efectúa fusión. En el segundo caso quedan comprendidos dos métodos principales: El Proceso Bessemer y el Proceso de Hogar abierto. Existe un tercer método que tiene mas importancia para la obtención de acero especiales o Aleaciones de Acero y que es el método Electrotérmico.

1.- CARBURIZACION DEL HIERRO DULCE.

PROCESO DE CEMENTACION. Se basa en que el hierro maleable, absorbe carbón a la temperatura del rojo brillante, formando una solución sólida de hierro y carburo de hierro, típico de los aceros de alto carbón; consiste en calentar capas alternadas del material y carbón en forma de grafito, en hornos rectangulares con cubierta especial a base de piedra, la cual permite inicialmente el paso de los gases, pero que se hace mas tarde impermeable. El proceso dura de 9 a 14 días, según el producto deseado (aceros blandos 7 a 8, medios 9 1/2, duros 11), calentándose a una temperatura de 800 a 1,000°C, mas o menos uniforme, lograda en los primeros dos días. Durante la operación se sacan muestras para analizar el contenido de carbón, el cual penetra gradualmente de la superficie al centro; logrado el contenido adecuado se deja enfriar por 5 a 6 días y se saca. El material resulta cubierto de una serie de ampollas, debido al desprendimiento del monóxido de carbono, formado al combinarse el carbón con el óxido de hierro del hierro utilizado. Para darle el acabado final se corta en pequeños trozos, se calienta a 800°C. y se lamina convirtiéndolo en pequeñas barras. Este proceso es muy empleado en América, se emplea algo en Inglaterra para cuchillería y herramientas, también se emplea en otros países de Europa para obtención de ejes, engranes, cojinetes, etc. También se emplea para endurecer la superficie de piezas que van a soportar choques, mientras el núcleo permanece suave, lo cual comunica a las piezas cierta ductilidad que evita las rupturas.

PROCESO DE CRISOL.- Consiste en fundir mezclas de carbón, hierro forjado y ferromanganeso, en recipientes de forma de barriles o vasos (crisoles), hechos de arcilla refractaria, sola o mezclada con grafito; con capacidad de 25 a 50 Kgs., los cuales se colocan en hornos especiales, generalmente de reverbero, con regonadores de calor (véase Pag. ). La temperatura se eleva gradualmente hasta la fusión de la carga que dura de 2 a 4 horas, según el material empleado, terminada la fusión se calienta y se añaden ferromanganeso o ferrosilicio, como desoxidante (4 a 5 m.) retirando los crisoles -- cuando termina el desprendimiento de gases, se elimina la escoria y se vacía el acero en moldes de hierro o en formas especiales. Este método da aceros muy puros, de propiedades y composiciones variables, pero que resultan muy costosos, por lo cual se aplican solo para aceros especiales (acero-cromo, acero níquel, acero tungsteno, acero de alto carbón, acero para herramientas, etc.)

2.- PROCESOS POR REFINACION.

GENERALIDADES.- Para la obtención de aceros y hierros por fusión, se parte como base del hierro de fundición, el cual debe someterse a un proceso de refinación o aceración, o sea de purificación por eliminación de las impurezas que lo acompañan ( S, C, P, Si, Mn. ), hasta lograr el por ciento correspondiente a la especificación re-

querida. Los procesos, según el tipo de escoria formada pueden dividirse en Ácidos y Básicos. Los primeros como su nombre lo indica, se efectúan en medio ácido y tienden a la eliminación del Silicio - Manganeso y Carbón, pero no así el fósforo y el azufre, por lo cual debe utilizarse materia prima más baja en éstos elementos, por lo mismo, el material del crisol de los hornos empleados, debe ser también ácido (ladrillo sílica). Los procesos básicos forman escoria básica, eliminando fácilmente el fósforo, azufre y manganeso y solo en parte el silicio, por la adición de materiales básicos, principalmente Caliza o Dolomita. El recubrimiento empleado consiste en ladrillos de Dolomita o Magnesita con una capa suelta de las anteriores. Es frecuente emplear para el resto del horno material ácido, separando ambos materiales con una capa de ladrillo neutro o ladrillo Cromita. En el Método ácido la duración es menor, por el menor contenido de impurezas del material y por no necesitar calor para calentar y descomponer el fundente básico (caliza, etc.). Según el tipo de hornos empleados, pueden ser: Bessemer, de hogar abierto y eléctrico, teniendo cada uno dos variedades: Acido y Básico, además un proceso que combina el Bessemer ácido con el de hogar abierto básico y que se llama proceso "Duplox".

El acero producido en cualquiera de éstos procesos se vacía en tinas de hierro recubiertas de ladrillo refractario, de gran capacidad (35 a 60 Tons.), provistas de un orificio en la parte inferior para el vaciado del producto en las lingoteras. Este orificio está obturado por una barra recubierta con una serie de cilindros de arcilla refractaria y que lleva en su parte inferior un tapón de grafito y una palanca en la parte superior para su movimiento. Las lingoteras son una serie de moldes de hierro con una sección interior rectangular, de 18"x 18", mayor en 3" en su parte inferior, las cuales llevan unas orejas laterales para su manejo y descansan sobre una base rectangular colocada sobre unos rieles, para su movimiento y arrastre. El lingote se deja enfriar lo más lento posible, para evitar demasiados defectos y finalmente se separa levantando el molde con una grúa.

PROCESO BESSEMER.- Se llama también proceso Neumático, porque en él se somete el hierro a la acción oxidante de una fuerte corriente de aire. Los hornos empleados reciben el nombre de Convertidores (Pag.19), Bessemer el ácido y Thomás el básico, siendo este último de mayor tamaño para la misma capacidad. El recubrimiento del primero (ácido), dura alrededor de 800 sopladas el de las paredes y de 25 a 30 el del fondo. El del segundo (básico), dura de 180 a 200 -- operaciones el de las paredes y 20 a 40 el del fondo, además en cada nueva operación debe recubrirse el horno con una capa de Dolomita quemada y alquitrán. La capacidad total del horno debe ser tres veces mayor que la de operación (15 a 25 Tons.) a.-Proceso ácido.-El hierro empleado como materia prima se llama hierro de grado Bessemer, debe ser bajo en fósforo y azufre y de un contenido de Silicio y Manganeso dentro de ciertos límites. Debe ser líquido, de tal modo que si está en lingotes se funde previamente en hornos de cubilote.

Para la operación o Soplo se coloca el convertidor en posición horizontal, se añade la carga y se empieza a elevar poco a poco, al mismo tiempo que se inyecta aire por las toberas del fondo, hasta llegar al máximo cuando el convertidor está vertical. El aire penetra a través del hierro, permitiendo que actúe el Oxígeno como oxidante del Silicio y Manganeso, en presencia del hierro, que actúa como catalizador.

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA  
"ALFONSO REYES"  
Cada. 1971. MONTENEGRO, BUENOS AIRES