

## I. DEFINICIÓN.

El acero es una aleación de hierro con pequeñas cantidades de otros elementos, es decir, hierro combinado con un 1% aproximadamente de carbono, y que hecho ascua y sumergido en agua fría adquiere por el temple gran dureza y elasticidad. Hay aceros especiales que contienen además, en pequeña proporción, cromo, níquel, titanio, volframio o vanadio. Se caracteriza por su gran resistencia, contrariamente a lo que ocurre con el hierro. Este resiste muy poco la deformación plástica, por estar constituida solo con cristales de ferrita; cuando se alea con carbono, se forman estructuras cristalinas diferentes, que permiten un gran incremento de su resistencia. Esta cualidad del acero y la abundancia de hierro le colocan en un lugar preeminente, constituyendo el material básico del S.XX. Un 92% de todo el acero es simple acero al carbono; el resto es acero aleado: aleaciones de hierro con carbono y otros elementos tales como magnesio, níquel, cromo, molibdeno y vanadio.

## II. TIPOS DE ACEROS.

### II.a. Acero aleado o especial.

Acero al que se han añadido elementos no presentes en los aceros al carbono o en que el contenido en magnesio o silicio se aumenta más allá de la proporción en que se halla en los aceros al carbono.

### II.b. Acero autotemplado

Acero que adquiere el temple por simple enfriamiento en el aire, sin necesidad de sumergirlo en aceite o en agua. Este efecto, que conduce a la formación de una estructura martensítica muy dura, se produce añadiendo constituyentes de aleación que retardan la transformación de la austenita en perlita.

### II.c. Acero calmado o reposado

Acero que ha sido completamente desoxidado antes de colarlo, mediante la adición de manganeso, silicio o aluminio. Con este procedimiento se obtienen lingotes perfectos, ya que casi no hay producción de gases durante la solidificación, lo que impide que se formen sopladoras.

### II.d. Acero de construcción

Acero con bajo contenido de carbono y adiciones de cromo, níquel, molibdeno y vanadio.

### II.e. Acero de rodamientos

Acero de gran dureza y elevada resistencia al desgaste; se obtiene a partir de aleaciones del 1% de carbono y del 2% de cromo, a las que se somete a un proceso de temple y revenido. Se emplea en la construcción de rodamientos a bolas y en general, para la fabricación de mecanismos sujetos al desgaste por fricción.

### II.f. Acero dulce

Denominación general para todos los aceros no aleados, obtenidos en estado fundido.

### II.g. Acero duro

Es el que una vez templado presenta un 90% de martensita. Su resistencia por tracción es de 70kg/mm<sup>2</sup> y su alargamiento de un 15%. Se emplea en la fabricación de herramientas de corte, armas y utillaje, etc.

En aplicaciones de choque se prefiere una gradación de dureza desde la superficie al centro, o sea, una sección exterior resistente y dura y un núcleo mas blando y tenaz.

## **II.h. Acero efervescente**

Acero que no ha sido desoxidado por completo antes de verterlo en los moldes. Contiene gran cantidad de sopladuras, pero no grietas.

## **II.i. Acero fritado**

El que se obtiene fritando una mezcla de hierro pulverizado y grafito, o también por carburación completa de una masa de hierro fritado.

## **II.j. Acero fundido o de herramientas**

Tipo especial de acero que se obtiene por fusión al crisol. Sus propiedades principales son:

- 1) resistencia a la abrasión
- 2) resistencia al calor
- 3) resistencia al choque
- 4) resistencia al cambio de forma o a la distorsión al templado
- 5) aptitud para el corte

Contienen de 0,6 a 1,6% de carbono y grandes proporciones de metales de aleación: tungsteno, cromo, molibdeno, etc.

## **II.k. Acero indeformable**

El que no experimenta prácticamente deformación geométrica tanto en caliente( materias para trabajo en caliente ) como en curso de tratamiento térmico de temple( piezas que no pueden ser mecanizadas después del templado endurecedor )

## **II.l. Acero inoxidable**

Acero resistente a la corrosión, de una gran variedad de composición, pero que siempre contiene un elevado porcentaje de cromo ( 8–25% ). Se usa cuando es absolutamente imprescindible evitar la corrosión de las piezas. Se destina sobre todo a instrumentos de cirugía y aparatos sujetos a la acción de productos químicos o del agua del mar( alambiques, válvulas, paletas de turbina, cojinete de bolas, etc. )

## **II.m. Acero magnético**

Aquel con el que se fabrican los imanes permanentes. Debe tener un gran magnetismo remanente y gran fuerza coercitiva. Los aceros de esta clase, tratándose aplicaciones ordinarias, contienen altos porcentajes de tungsteno( hasta el 10%) o cobalto(hasta el 35%). Para aparatos de calidad se emplean aceros de cromo–cobalto o de aluminio–níquel ( carstita, coercita ).

## **II.n. Acero no magnético**

Tipo de acero que contiene aproximadamente un 12% de manganeso y carece de propiedades magnéticas.

## **II.ñ. Acero moldeado**

Acero de cualquier clase al que se da forma mediante el relleno del molde cuando el metal está todavía líquido. Al solidificar no trabajado mecánicamente.

## **II.o. Acero para muelas**

Acero que posee alto grado de elasticidad y elevada resistencia a la rotura. Aunque para aplicaciones corrientes puede emplearse el acero duro, cuando se trata de muelas que han de soportar fuertes cargas y frecuentes esfuerzos de fatiga se emplean aceros al silicio con temple en agua o en aceite y revenido.

## **II.p. Acero pudelado**

Acero no aleado obtenido en estado pastoso.

## **II.q. Acero rápido**

Acero especial que posee gran resistencia al choque y a la abrasión. Los más usados son los aceros tungsteno, al molibdeno y al cobalto, que se emplean en la fabricación de herramientas de corte.

## **II.r. Acero refractario**

Tipo especial de acero capaz de soportar agentes corrosivos a alta temperatura.

## **II.s. Acero suave**

Acero dúctil y tenaz, de bajo contenido de carbono. También se obtiene este tipo de acero, fácil de trabajar en frío, aumentando el porcentaje de fósforo (aumentando un 0,15%) y de azufre (hasta un 0,2%). Tiene una carga de rotura por tracción de unos 40 kg/mm<sup>2</sup>, con un alargamiento de un 25%.

## **II.t. Aceros comunes**

Los obtenidos en convertidor o en horno Siemens básico.

## **II.u. Aceros finos**

Los obtenidos en horno Siemens ácido, eléctrico, de inducción o crisol.

## **II.v. Aceros forjados**

Los aceros que han sufrido una modificación en su forma y su estructura interna ante la acción de un trabajo mecánico realizado a una temperatura superior a la de recristalización.

## **III. OBTECIÓN.**

### **III.a. Historia.**

Durante toda la Edad Media y El Renacimiento el acero era producido en pequeñas cantidades por corporaciones de artesanos que guardaban en secreto el método de fabricación. El primer proceso de obtención industrial del acero fue ideado por el relojero inglés B.Huntsman en 1740; el proceso se llamó al

crisol, porque consistía en cementar ( es decir, enriquecer en contenido de carbono ) el hierro con carbón vegetal y fundir sucesivamente en un crisol el producto obtenido. La fundición se conocía en Europa ya en el siglo XIV, como producto secundario de los hornos altos de producción de hierro; en un principio sólo se utilizó como sustitutivo del bronce. Antes de que pudiera emplearse en gran escala en la producción del acero, fue necesario que el inglés H. Cort inventase en 1874 un procedimiento de afina, en el que se producía el hierro en un horno de reverbero alimentado con carbón mineral; el carbón era quemado sobre una parrilla cuya solera estaba constituida por una capa que contenía óxido de hierro. Durante el proceso, llamado pudelado, la fundición era removida a mano con unas largas varillas de hierro, y luego comprimida en una prensa; el lingote resultante se laminaba al calor. Con tales procedimientos la producción de hierro fundido dejó de estar supeditada al consumo de carbón vegetal, solucionando el gravísimo problema que representaba para muchos países europeos el incremento de la tala de bosques.

El acero producido al crisol era de óptima calidad, pero el coste de producción era muy superior al fabricado por pudelado. Ambos métodos fueron abandonados al introducirse los procedimientos modernos de producción en gran escala de Bessemer y de Tomas.

El proceso Bessemer, ideado en 1856 por Henry Bessemer, consiste en obtener directamente acero mediante el afino de la fundición, introduciendo una corriente de aire en un aparato, actualmente llamado convertidor y entonces, por su forma, pera de Bessemer. En él, el calor que mantiene líquida la colada lo suministra la reacción exotérmica de oxidación del Si. Dado que el convertidor ( la cuba de afino ) está revestido de sílice ( ácida ), el proceso es idóneo para una función de estas características. En el mismo período se patentaba en América un proceso análogo, el de William Kelly. En 1877, el inglés Sydney Gilchrist Thomas tuvo la idea de sustituir el revestimiento ácido del convertidor Bessemer por un revestimiento básico ( dolomía ), lo que permitía obtener escorias básicas; por consiguiente, se podía convertir fundición fosforosa en aceros. Entre 1860 y 1865 el francés Pierre Martín y los alemanes Wilhelm y Friedrich Siemens desarrollaron un tipo de horno alimentado por gas, denominado posteriormente horno Martín–Siemens. Este tipo de horno permite obtener acero fundiendo en la solera grandes cantidades de chatarra de hierro y fundición o bien fundición y minerales. W. Siemens, entre 1878 y 1879, efectuó los primeros intentos de obtener acero a partir de chatarra de fundición de hierro en hornos de arco eléctrico. En 1898, E. Stassano instaló en Roma un horno de arco eléctrico para fabricar acero directamente del mineral, horno en que la colada era calentada por irradiación. Casi simultáneamente, en 1900, el francés P. T. L. Héroult, en América, iniciaba sus ensayos para obtener acero en un horno también de arco, siguiendo un procedimiento muy similar al Martín–Siemens.

Los procesos Bessemer, Thomas, Martín–Siemens y más tarde los de acería eléctrica inauguran la edad del acero, desplazando rápidamente a la madera como material estructural en las obras de ingeniería civil, y después al hierro fundido con materia prima de la construcción de rafles, barcos, cañones, etc.

### **III.b. Producción.**

El acero se obtiene a partir del producto de alto horno, el arrabio líquido, en los convertidores o en otros hornos que trabajan con carga líquida dentro de la misma instalación industrial. El arrabio, lingote de horno alto o lingote de hierro, pues de estas maneras suele denominarse, es frágil y poco resistente. Su composición, que es distinta según la procedencia del mineral de hierro, está constituida por un elevado tanto por ciento de carbono ( 4–5% ) y otras impurezas como azufre, fósforo, silicio, manganeso, etc. Se transforma en acero mediante un proceso de descarburación y regulación de las otras impurezas. Existen, además, otros procedimientos que permiten obtener directamente acero partiendo del mineral sin pasar por el arrabio. Aunque su desarrollo ha sido y es muy limitado, se pueden citar como métodos más importantes: Hoganäs, Norsk–Staal, Krupp–Renn, afino sólido, etc. El procedimiento de la forja catalana respondía a este último tipo de obtención: el hierro se reducía con carbón vegetal formando fundición, la cual, en la parte más caliente del horno, se transformaba en acero.

### **III.c. Clasificación de los modernos procesos de obtención**

Desde el punto de vista químico–metalúrgico, todos los procesos de fabricación de acero se pueden clasificar en ácidos y básicos ( según el refractario y composición de la escoria utilizada ), y cada proceso tiene funciones específicas según el tipo de afino que puede efectuar. Los procesos ácidos utilizan refractarios de sílice, y por las condiciones de trabajo del proceso hay que poder formar escorias que se saturen de sílice. Los procesos ácidos pueden utilizarse para eliminar carbono, manganeso y silicio; no son aptos para disminuir el contenido en fósforo y azufre, y por esto requieren el consumo de primeras materias seleccionadas, cuyo contenido en fósforo y azufre cumple las especificaciones del acero final que se desea obtener. Los procesos básicos utilizan refractarios de magnesita y dolomía en las partes del horno que están en contacto con la escoria fundida y el metal. La escoria que se forma es de bajo contenido de sílice compensada con la cantidad necesaria de cal. El proceso básico elimina, de manera tan eficaz como el proceso ácido, el carbono, manganeso y silicio, pero además eliminan el fósforo y apreciables contenidos de azufre. De aquí las grandes ventajas del proceso básico, por su gran flexibilidad para consumir diversas materias primas que contengan fósforo y azufre, y por los tipos y calidades de acero que con él se pueden obtener. Desde el punto de vista tecnológico existen tres tipos fundamentales de procesos:

- 1) Por soplado, en el cual todo el calor procede del calor inicial de los materiales de carga, principalmente en estado de fusión.
- 2) Con horno de solera abierta, en el cual la mayor parte del calor proviene de la combustión del gas o aceite pesado utilizado como combustible; el éxito de este proceso se basa en los recuperadores de calor para calentar el aire y así alcanzar las altas temperaturas eficaces para la fusión de la carga del horno.
- 3) Eléctrico, en el cual la fuente de calor más importante procede de la energía eléctrica ( arco, resistencia o ambos ); este calor puede obtenerse en presencia o ausencia de oxígeno; por ello los hornos eléctricos pueden trabajar en atmósferas no oxidantes o neutras y también en vacío, condición preferida cuando se utilizan aleaciones que contienen proporciones importantes de elementos oxidables.

En la fabricación de acero existen las fases hierro, escoria y gases. Este sistema heterogéneo tiende a un estado de equilibrio si se adicionan unos elementos reaccionantes o varía la temperatura o la presión. Al fabricar un acero se pretende eliminar de la fase hierro los elementos perjudiciales en acceso y añadir los que faltan para conseguir el análisis final previsto. Por las reacciones reversibles entre las tres fases ( hierro, escoria y gases ) se consigue, al producirse un desequilibrio, la segregación o paso de elementos, eliminar del hierro la escoria, o viceversa. Es necesario un profundo conocimiento de estas reacciones para fabricar un acero con buen resultado. Todo el proceso de obtención de acero consta de un primer período oxidante o de afino, en el que se elimina el Carbono en fase gaseosa; el silicio y el manganeso se oxidan formando compuestos complejos con la escoria, que puede eliminarse; si la escoria es además básica, se elimina el fósforo. El segundo período es reductor y debe eliminar el exceso de óxido de hierro disuelto en el baño del hierro durante el período oxidante, a fin de poder eliminar después el azufre; o puede también recuperar el manganeso oxidado que pasó a la escoria. Finalmente, hay un período de desoxidación o refino por acción de las ferro–aleaciones de manganeso y silicio, que se adicionan en el baño a la cuchara, y de aluminio metálico, en la lingotera. Estos períodos pueden tener mayor o menor duración e importancia y realizarse netamente separados o entrelazados, y a mayor o menor velocidad en unos procesos que en otros. El desescoriado puede ser total o parcial en cada período, o transformar las primeras escorias oxidantes en reductoras. Todo ello dependerá del horno o proceso utilizado, de las condiciones de las materias primas, de los elementos que interesa que pasen a la escoria y no retornen de ésta al baño de hierro, etc.

### **1) Proceso por soplado, Bessemer ácido y Thomas básico.**

El proceso Bessemer ácido ha sido el primero utilizado y el más sencillo. Desde su inicio permite obtener en una sola operación, partiendo de hierro líquido, coladas de 10–25 tm al ritmo de 1 tm/ min. Por ser ácido, no defosfora ni desulfura y debe utilizar hierro líquido de análisis adecuado. La gran abundancia de mineral de hierro rico en fósforo, que al ser tratado en horno alto pasan gran parte al hierro líquido, provoca el desarrollo

de procesos que pueden defosforar, y ha sido causa de que los procesos básicos se empleen en Europa mucho más que el Bessemer ácido, limitado éste a utilizar hierro bajo en fósforo, mucho más escaso. La operación se realiza en el convertidor, cuba de acero revestida de refractario, con toberas en su fondo y abierta en su parte superior, montada sobre apoyo con mecanismo basculante. La carga de hierro líquido se realiza con el convertidor en posición horizontal, lo que deja abiertas las toberas. Se insufla el aire necesario a través de uno de los soportes huecos a la caja de viento, que lo distribuye a través de las toberas a una presión de 2 kg / cm<sup>2</sup>. Se inicia el soplado al mismo tiempo que se pone el convertidor vertical; el aire a presión pasa a través del hierro líquido, introduciéndose así el oxígeno necesario para el afino.

El silicio contenido en el hierro líquido es el factor termoquímico más importante para regular y obtener la temperatura necesaria. La llama expulsada por la boca del convertidor cambia de color y luminosidad, lo que permite juzgar el desarrollo del afino e interrumpir el soplado en el momento final adecuado; entonces se hace bascular el convertidor y se cuela el acero líquido en una cuchara de transporte. El revestimiento ácido de este tipo de convertidores proporciona el exceso de sílice indispensable para formar escoria, además del silicio que contiene el hierro líquido.

En el caso del convertidor básico, llamado proceso Thomas, el revestimiento es de magnesita o dolomía calcinada y alquitrán. Por la acción fuertemente oxidante del soplado se elimina primero el carbono y después se oxida el fósforo, que actúa de importante elemento termógeno. La cal necesaria se añade con la carga; se funde durante el soplado y se combina con el fósforo oxidado, formando la escoria Thomas, utilizada como fertilizante. Este proceso ha sido un factor muy importante del desarrollo industrial alcanzado en Europa a fines del siglo pasado. Se controla como el Bessemer por el aspecto de la llama. El tiempo necesario del soplado es sólo de 15 min, por lo que el éxito del proceso depende de la pericia del operario. Tan corto tiempo no permite efectuar control por análisis de muestras.

## 2) Proceso sobre solera, básico y ácido.

Desde principios de siglo este proceso es el que domina en todos los países merced al tonelaje producido, siempre en aumento; sin embargo, en la actualidad, aunque se perfeccione, puede perder terreno, debido a las mejoras del convertidor y del horno eléctrico.

Los dos procesos, de afino por soplado y de afino por solera, constituyen la base de la moderna producción de acero a bajo coste y elevado tonelaje. El rápido auge inicial del proceso Bessemer se debió a su sencillez. El predominio final del proceso sobre solera obedece, a su posibilidad de utilizar con ventaja chatarra para poder fundirla, a su flexibilidad en el uso de otras materias primas y a su cualidad de obtener una gama más amplia de aceros de muy buena calidad. Se puede trabajar en forma ácida o básica con refractarios adecuados, y en ambos casos son posibles amplias variaciones de trabajo. La solera, en un horno básico, está revestida con magnesita o dolomía calcinada y, en horno ácido, con refractarios o arenas silicosas. La bóveda, que forma un amplio arco de medio punto, se construye de ladrillo de sílice, pero en la actualidad se tiende a fabricarla con ladrillos básicos formando arcos suspendidos. El tipo de refractario de la bóveda es independiente del de la solera, ya que la bóveda no está en contacto con la escoria fundida en el baño. Los quemadores situados en ambos extremos del horno funcionan alternativamente en ciclo controlado, por lo general de 10–15 min. Los combustibles que se suelen utilizar son gas de hulla, gas natural o aceite pesado; su elección depende de lo que se disponga y de su coste, sin ninguna otra condición. Para conseguir en el horno una temperatura suficiente ( superior a 1650 ° C ) con coste mínimo de combustible, se precalienta el aire para la combustión en un sistema de recuperadores de calor reversibles. El régimen de trabajo del horno es continuo para conseguir un mejor aprovechamiento del calor, un descascarillado mínimo del refractario y una producción máxima en toneladas de acero

( 200–300 tm por colada ). Los materiales que se cargan fríos en el horno son caliza o cal, mineral de hierro y chatarra de acero, y se colocan por este orden en el horno. La chatarra constituye algo más de la mitad del peso de hierro necesario para una colada. Se forma así una mezcla de material ligero, voluminosa y pesada;

distribuido de esta manera, se consigue una rápida absorción de calor, economía de espacio y que se mantengan en el fondo, durante el mayor tiempo posible, la cal y el mineral. Se calculan las cantidades necesarias de cal y mineral, que dependerán del tipo de chatarra y del análisis de la carga de hierro, con vistas a seguir un correcto análisis del acero y escoria final. Durante el calentamiento, y conseguida la fusión de la carga, aumenta su oxidación por la acción de la atmósfera del horno, que debe contener un exceso de oxígeno para mantener una combustión eficaz. Cuando la chatarra está parcialmente fundida, se añade el hierro líquido necesario para completar el peso total de la carga. La acción oxidante tiene su origen en el proceso de afino por solera, en la atmósfera del horno, en el aire y productos de la combustión y en el mineral de hierro que pasa a la escoria fundida en gran cantidad en forma de óxido de hierro. Cualquiera que sea el origen del oxígeno, existirá suficiente presión del mismo, y el acero líquido disolverá, de acuerdo con su temperatura y composición, una cantidad de oxígeno. Éste oxígeno disuelto reacciona a su vez con otros elementos del baño de acero. Para un contenido dado de carbono la cantidad de oxígeno disuelto en el baño aumentará con la temperatura, mientras que para una temperatura determinada los contenidos de carbono y oxígeno del baño están en proporción inversa. La escoria es un producto de la calcinación de la pieza caliza durante el período de fusión.

### **3) Proceso del horno eléctrico.**

El progreso de la electricidad permitió, hacia el año 1900, que el horno eléctrico se introdujera a escala industrial para fabricar acero ( 50 años después de los procesos de afino por soplado y por solera ). El horno de arco calienta directamente el baño de acero por debajo de la escoria y consigue la alta temperatura necesaria de trabajo. Sin requerir la presencia de oxígeno en su atmósfera, el horno eléctrico ocupa una posición privilegiada para la fabricación de una amplia gama de calidades de aceros finos aleados, con elevados contenidos de elementos de aleación oxidables, tales como el carbono, vanadio y wolframio. El horno de tres electrodos ha alcanzado gran auge y perfeccionamiento, no sólo por la alta calidad del acero que se obtiene, sino también en muchos casos por ser competitivo con el proceso de afino por solera para cualquier calidad de acero; parece que continúa aumentando su importancia, incluso para la producción de grandes tonelajes, merced a la menor inversión necesaria o también cuando se dispone de energía eléctrica a coste inferior o similar a la caloría gas. Existen asimismo las dos variedades, básico y ácido, con los mismos fundamentos que en los procesos anteriores, pero con notable predominio del horno básico dadas las dificultades y fluctuaciones que experimenta el mercado para poder adquirir primeras materias suficientes para el trabajo ácido. El tamaño del horno es muy variable, desde 500 kg hasta 200 tm. Los más pequeños tienden a desaparecer; los de 5 tm y más se utilizan para el moldeo y aceros aleados, y las grandes unidades para la producción en serie de lingotes. Normalmente trabajan con carga sólida; en algunas acerías lo hacen con carga de acero líquido en proceso duplex, conjunto de convertidor u horno de solera y horno eléctrico para el acabado. La carga de los grandes hornos es un factor determinante de su rendimiento; en general se ha adoptado la bóveda desplazable para carga por encima del horno abierto, con recipiente metálico de fondo de fácil abertura, o por otros rápidos procesos mecanizados. La marcha de la colada se inicia con la carga sólida de mineral, caliza o cal, según se disponga, chatarra y lingote de afino. La proporción de estos materiales dependerá del acero que se quiera fabricar y del análisis que convenga que tenga la carga fundida a la temperatura necesaria; para el afino oxidante, el mineral y las batiduras de laminación proporcionan el oxígeno que necesitan el silicio, manganeso, fósforo y carbono que contiene la carga; se introduce suficiente cal para que la escoria tenga la basicidad que requiere el fósforo para pasar a ella. En el horno eléctrico el aire de su atmósfera interior está en contacto con los electrodos de grafito, y su oxígeno es rápidamente consumido para mantener el equilibrio y conseguir la temperatura de régimen del horno. La escoria básica y oxidante contendrá el fósforo que fue oxidado durante el afino; se bascula el horno para facilitar el desescoriado. Eliminada la escoria, si la especificación de calidad del acero requiere adiciones de elementos aleables, la siguiente etapa es preparar una escoria reductora, añadiendo cal apagada y electrodos o coque triturados. En todo momento se pueden sacar muestras del baño para su análisis y ajustar los elementos aleados hasta que se cumpla la especificación pedida, y también regular la temperatura hasta que el baño esté a punto para colar. Aunque con menor intensidad que en otros procesos de obtención de aceros, es necesaria la adición de desoxidantes en la cuchara.

## IV. APLICACIONES.

### IV.a. Economía.

El acero, producto derivado de uno de los sectores fundamentales del desarrollo económico, la industria siderúrgica constituye una de las bases sobre las que se asienta toda la economía industrial. Su importancia se refleja en el aumento experimentado en el volumen de su producción en menos de cien años, aumento de un 91.000/100; frente al total mundial de 508.000 tm de 1870. Se alcanzó en 1966 la cifra de 474 millones de tm, y el número de países productores ( 30 en 1938 ) se ha elevado a 75 en la actualidad. Este proceso de desarrollo es debido a la política actual de industrialización, que en líneas generales coincide en considerar la implantación de una industria pesada como una de las condiciones de la independencia económica. Ello ha conducido en ciertos países a una capacidad de producción que excede las necesidades interiores, al no haberse desarrollado al mismo ritmo las industrias derivadas. Así, en 1966 el excedente total de la producción se evaluó en 100 millones de tm, de las que cerca de un 50% corresponden a los EE.UU. La localización de la industria siderúrgica, tradicionalmente afincada en naciones con recursos de hulla coquificable y de mineral de hierro, va cambiando de siglo debido a la rapidez y baratura de los transportes, que posibilita la creación de acerías en países desprovistos de recursos mineros, tendencia que viene incrementada por la fabricación de acero a partir de chatarra en zonas carentes de carbón. El comercio exterior se encuentra afectado duramente por la sobreproducción, que convierte en más áspera la competencia entre los grandes exportadores; se asiste a una deterioración de los precios internacionales, en especial en los países pertenecientes a la CECA, en que se vende a precios inferiores a los de costo. En la industria del acero se evidencia un elevado grado de concentración, en particular entre los grandes países productores. En 1966 en EE.UU. las tres primeras empresas, U.S.Steel, Bethlehem y Republic Steel, que son a su vez las tres primeras empresas mundiales, produjeron 58.118.000 tm; las ocho mayores empresas estadounidenses fabricaron 91.790.000 tm. Japón posee un grado de concentración parecido: las cinco primeras empresas, de las que Yawata y Fuji son las mayores, produjeron 32.827.000 tm. En Australia una sola empresa, la Brokin Hill, produce casi la totalidad del acero ( 5.865.000 tm sobre 5.892.000 tm ). Entre los países de la CECA, Luxemburgo, con la Arbed, es el que posee el mayor grado de concentración, y los restantes cuentan así mismo con grandes empresas, entre las que destacan August Thyssen–Hütte ( Alemania ), Italsider ( Italia ) y Usinov ( Francia ). Con respecto a los estados socialistas, no se dispone de datos ciertos que permitan evaluar su producción; no obstante, parece indiscutible que las acerías soviéticas de Magnitogorsk ocupan el quinto lugar entre las veinte empresas mayores del mundo.

En España, contrariamente a lo sucedido en otros países, la industria siderúrgica moderna no se afincó en una zona de carbón coquificable, como Asturias, sino en un área productora de mineral de hierro, no obstante es mayor en la producción del acero la cantidad de carbón consumido que la de hierro. La coincidencia de diversos factores motivó que a mitad del s. XIX, y después de que el primer alto horno de coque se construyese en Trubia ( Asturias ) en 1848, la producción de acero se desplazase al País Vasco; entre ellos, la existencia de yacimientos de hierro, la capitalización de los fuertes beneficios obtenidos de la exportación del mineral a Gran Bretaña y la baratura del transporte de coque británico. Otro rasgo característico del acero en España ha sido el desfase técnico con que se inicia la producción masiva. A fines del s.XIX, debido principalmente a las gestiones de la Liga Vizcaína de Productores, se aprobó el arancel de 1891, que afianzó a Vizcaya como la gran región productora española, pero durante la Dictadura se entró en una etapa expansiva que culminó con la producción récord de 1929. Al año siguiente se inició una tendencia de fuerte descenso a consecuencia de la crisis mundial; no fue hasta 1954 cuando se superó la cifra de esta fecha. En 1957 Ensidesa construyó en Avilés ( Asturias ) la primera factoría integral ( productos de coque, arrabio, acero y laminados ) cuyos efectos fueron frenar el alza de precios y romper la tendencia monopolista representada por el grupo encabezado por Altos Hornos de Vizcaya. A partir de 1958 la producción ha ido aumentando paulatinamente, hasta alcanzar 3.661.000 tm en 1966, colocándose España en el decimonoveno lugar, entre los productores mundiales, con una producción similar a la de la Rep. Democrática Alemana, Rumanía y Holanda.

### IV.b. Aplicaciones arquitectónicas.

El hierro como material estructural se usa en arquitectura desde antiguo. Por sus propiedades a la tracción se utilizaba combinando con la madera en las cabriadas que cubren las naves de las iglesias medievales. Sin embargo, es la sustitución de la madera por el carbón en la extracción del mineral (1735), la fabricación de las primeras vigas perfiladas de hierro (1847), la invención del procedimiento Bessemer que permite producir acero en gran escala (1855), los trabajos de Hennebique y el uso del hormigón armado (1890) y la patente del acero inoxidable (1916), lo que hace posible llegar a un empleo masivo del acero en la arquitectura. Básicamente, el acero forma los elementos estructurales: vigas y pilares, planchas superficiales o cables para grandes cubiertas, y barras para el armado del hormigón. Se emplea también en detalles no estructurales, desde la carpintería de puertas y ventanas hasta recubrimientos, simples manivelas, etc. Dado el gran poder de oxidación del acero en contacto con la atmósfera, hay que aplicar un proceso de revestimiento de superficie, ya por baño electrolítico, ya pintándolo. Por su resistencia, puede emplearse en estructuras ligeras, necesarias cuando la edificación pasa de cierto número de plantas o cuando cubre una gran luz. En ambos casos la relación peso propio-resistencia ha de ser baja, lo que se consigue con el empleo del acero. Este es sólo moldeable a elevadas temperaturas; por tanto, no es un material conformable en obra y se utiliza para perfiles, chapas, etc., normalizados y preformados en industrias adecuadas, mientras que en obra las operaciones se reducen a las de corte, ajuste y unión. Los sistemas de unión ( roblonado, atornillado y soldadura ) permiten adaptar estas formas industriales a las constructivas. El roblonado y el atornillado, aunque presentan gran facilidad de puesta en obra, no solucionan el problema fundamental, que es la continuidad. Por el contrario, la soldadura consigue hacer de los perfiles industriales un conjunto homogéneo a nivel molecular.

El acero, por presentar unas dispersiones mínimas en sus características resistentes, con un control de calidad fácilmente alcanzable, planteó la necesidad de una revisión de los métodos de cálculo usados normalmente, y pensados para materiales cuya construcción y ejecución no permitían una determinación cuantitativa aproximada de sus características resistentes. La posibilidad de un mayor conocimiento del material permitió la formulación de hipótesis de cálculo mucho más ajustadas a la realidad y cuyas aplicaciones estaban totalmente justificadas por motivos económicos. La operatividad de los métodos basados en estas hipótesis ( métodos elásticos menos simplificados, métodos plásticos, métodos fundados en la continuidad de los materiales resistentes, etc. ) se alcanza con la aparición y uso generalizado de los computadores electrónicos.

El acero ha sido, posiblemente, el catalizador de intentos sistemáticos de acercamiento a la realidad en el campo del cálculo estructural dentro ya del proceso general del diseño arquitectónico. La obra que refleja más claramente todos los puntos anteriores es quizás la de Ludwig Mies van der Rohe. Series regulares de columnas de acero no recubierto sostienen las placas de los techos dejando en libertad las paredes, que son meras divisiones, límpidas, del espacio interior. Actualmente se han desarrollado técnicas constructivas a base de acero; entre ellas cabe citar los techos suspendidos que se sostienen mediante cables de acero tensados, los cascarones de acero soldado, las enormes cubiertas reforzadas por costillas sobre columnas de hormigón armado, etc.