

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA COLADA CONTINUA EN LA FABRICACIÓN DE ACERO

Trabajo de fin de grado.

Autor: Enrique San José Alcón.

Tutor: Óscar Martín Llorente.

Departamento: Dpto. Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Expresión Gráfica en la Ingeniería, Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Ingeniería Mecánica e Ingeniería de los Procesos de Fabricación

Grado de Ingeniería Mecánica.

Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid

Curso académico 2019/2020

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN HISTÓRICA DE LA METALURGIA	5
1.1	Evolución en la fabricación del hierro	5
1.2	Evolución en la fabricación del acero	9
1.2.1	Introducción del acero.....	9
1.2.2	Inicios de la fabricación del acero	11
1.2.3	Convertidor de Bessemer	13
1.2.4	Convertidor de Thomas.....	18
1.2.5	Horno Siemens.....	19
1.2.6	Horno de arco eléctrico	26
1.2.7	Convertidor de acero soplado por oxígeno, sistema LD.....	28
1.2.8	Comparación de uso de los diferentes tipos de hornos	31
2	CONTEXTO HISTÓRICO ECONÓMICO DESDE LA APARICIÓN DE LA COLADA CONTINUA.	35
2.1	Introducción	35
2.2	La OPEP.....	35
2.3	Guerra de los seis días.....	36
2.4	Guerra de Yom Kippur.....	37
2.5	Crisis del petróleo de 1973.....	39
2.5.1	Consecuencia de la crisis petrolífera.....	42
2.6	Crisis petrolífera de 1979 – 1980.	43
2.7	Crisis del petróleo de 1986.....	44
2.8	Crisis del petróleo de 1990.....	44
3	CONTEXTO HISTÓRICO EN EL SECTOR SIDERÚRGICO DURANTE LA APARICIÓN DE LA COLADA CONTINUA.....	44
3.1	Crisis mundial de la siderurgia.....	45
3.2	Crisis en la siderurgia española.....	54
3.3	Actualidad en la industria siderúrgica	57
4	INICIOS Y DESARROLLO DEL PROCESO DE COLADA CONTINUA DEL ACERO.....	65
4.1	Definición de colada continua.....	65
4.2	Introducción al proceso de la colada continua	67
4.3	Colada en lingotera.....	68
4.4	Evolución histórica de la colada continua.....	70
4.5	La colada continua en la actualidad	76

5	INSTALACIÓN DE COLADA CONTINUA	78
5.1	Descripción y evolución de sus elementos.....	78
5.1.1	Torre de colada	78
5.1.2	La cuchara.....	78
5.1.3	Artesa	79
5.1.4	Molde	80
5.1.5	Cámara de enfriamiento.....	85
5.1.6	Rodillos de arrastre	85
5.1.7	Corte.....	86
5.1.8	Almacenamiento	86
5.2	Descripción del proceso	86
5.3	Tipos diferentes de colada continua	89
5.3.1	Molde vertical recto.	90
5.3.2	Molde vertical con doblado solido.....	90
5.3.3	Molde vertical con doblado sin solidificar.....	90
5.3.4	Molde curvo	91
5.4	Ventajas de una colada continua	91
6	PRODUCTOS ESPECIALES FABRICADOS DE FORMA CONTINUA	92
6.1	Colada continua de planchones delgados.....	92
6.2	Colada continua de flejes	92
6.3	Colada continua de esbozos para vigas	93
7	TENDENCIA FUTURA EN LA FABRICACIÓN DE ACERO.....	94
8	CONCLUSIONES.....	97
9	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA	99

1 INTRODUCCIÓN HISTÓRICA DE LA METALURGIA

1.1 Evolución en la fabricación del hierro

El descubrimiento del hierro constituye la época final de la edad de los metales. La edad de los metales se divide en tres épocas, la Edad de Cobre, La Edad de Bronce y la Edad de Hierro (Apraiz, 1984).

Los humanos según fueron comprendiendo la composición y el manejo de los metales, mejoraron las técnicas de forjado y fundición del metal. Esto fue elemental a la hora de experimentar con nuevos metales como el hierro, que requería un proceso más complejo tanto para su extracción como para forjarlo (Historiando, 2018).

Estos periodos históricos, se sitúan en el tiempo en el siguiente orden:

- Edad de Cobre (6000 a.C hasta el 3000 a.C).
- Edad de Bronce (3000 a.C hasta 1400 a.C).
- Edad de Hierro (1400 a.C hasta 200 a.C).

En un principio, los seres humanos conocían algunos metales como el cobre, el oro y la plata. El problema que tenían el oro y la plata era su escasez y su reparto irregular sobre la superficie terrestre. El oro fue uno de los primeros metales conocidos por el hombre, ya fuera en forma de pepitas entre las arenas de los ríos, o en yacimientos de oro no muy profundos. La plata también estaba presente en la superficie terrestre en forma de nódulos (Núñez y Paniagua, 2001)

El oro y la plata no tendrían gran importancia en la sociedad aquella época y su uso se destinó a la fabricación de pequeñas joyas y elementos decorativos. Al cobre se le consiguió dar un uso más práctico mediante la creación de herramientas y útiles, que les facilitarían sus tareas de la vida cotidiana (Apraiz, 1984).

En un principio la forma de obtener este metal, se basaba en golpear con martillos de piedra el cobre puro que se encontraba sobre la superficie terrestre, dándole la forma deseada (Fig. 1). Con el paso del tiempo, se persiguió el modo de mejorar la fabricación de sus herramientas y, descubrieron que mediante calentamientos del metal se obtenía un producto mucho más maleable, consiguiendo la forma final del producto más fácilmente y con un mayor aprovechamiento del material ya que se producen menos fracturas (Núñez y Paniagua, 2001).

A partir de estos pequeños avances consiguieron fundir el cobre en crisoles calentados con madera y que se introducían en hornos fabricados de arcilla y rocas (Fig. 2) (Núñez y Paniagua, 2001).

Con la mejora de estos hornos y la investigación sobre los métodos de obtención del cobre, permitió que comenzaran a obtenerlo a partir de minerales como la calcopirita, la azurita o la malaquita. Estos minerales se obtenían de las minas, de esta forma nacería la minería (Núñez y Paniagua, 2001).

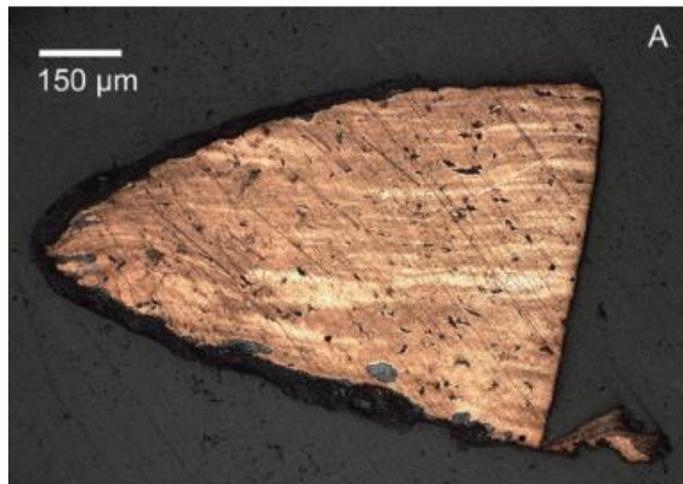


Fig. 1 Puñal de remaches de cobre.

Fuente: (Montero Ruiz, 2013)

Debido a los conocimientos adquiridos y al nuevo modo de obtención del cobre, apareció la explotación de las primeras minas. Una de las más célebres es la mina de calcopirita de Rudna Glava (Núñez y Paniagua, 2001).



Fig. 2 Antiguo horno de reverbero

Fuente: (Becerra, 2013)

Todas estas innovaciones hicieron que la fabricación del metal se empezara a convertir en una especialización, ya que, para realizar su proceso se necesitaban conocimientos y técnicas específicas, de este modo empezaron a surgir los primeros artesanos (Apraiz, 1984).

El uso del cobre, se fue extendiendo y haciendo cada vez más necesario en la vida cotidiana, y como no todos podían conseguir fabricar estos nuevos elementos de cobre, al igual que empezaron a surgir los primeros artesanos con ellos también nacería el comercio (Apraiz, 1984).

El cobre es un metal blando, débil y maleable, por lo que es de escasa utilidad para la elaboración de herramientas, las de piedra seguían siendo más resistentes. Por lo tanto, su uso se destinaba para artilugios de uso doméstico y adornos (Núñez y Paniagua, 2001).

Este metal, constituyó un gran avance en las actividades de la vida cotidiana, por lo que buscaron formas de obtener mejoras de este producto y también otros metales que tuviera propiedades similares al cobre. Sobre los años 3000 a.C, se descubrió que, mediante la fundición de cobre con estaño o antimonio, conseguían un material mucho más duro y más fácil de obtener, que era el bronce. Con el descubrimiento de esta aleación, todas las herramientas y aperos pasaron a ser de bronce (Fig. 3) (Apraiz, 1984).



Fig. 3 Herramientas de bronce

Fuente: Máxima Uriarte, 2019

A partir de la difusión de este nuevo material, se da paso a una nueva etapa histórica llamada la Edad de Bronce. Esta nueva etapa abarca desde el año 3000 a. C hasta el 1400 a.C (Apraiz, 1984).

A partir del año 1400 a.C se inicia la edad de Hierro. Este metal, en un principio solo se podía obtener en estado pastoso, lo que es llamado hierro esponja. El descubrimiento del hierro, es atribuido a los Hititas en la actual Turquía (Apraiz, 1984).

En un principio el hierro no sustituiría al bronce, debido a que su método de obtención era mucho más sencillo en comparación al hierro y, mecánicamente tenían una dureza similar, por lo que no había motivos para que el nuevo metal sustituyera al bronce. Este hierro obtenido inicialmente tenía muchas impurezas que reducían sus propiedades (Apraiz, 1984).

Gracias a la mejora de los hornos y de la técnica desarrollada por los Hititas, se comenzó a fabricar un hierro de mejor calidad, que serviría para construir armas y herramientas (Fig. 4). Con la experiencia fueron descubriendo que el hierro tenía muchas más aplicaciones que el resto de los metales conocidos. De ahí que buscaran la forma de mejorar el propio material y conseguir una producción mucho más sencilla y abundante (Apraiz, 1984).

El hierro disponía principalmente de dos ventajas frente al bronce. La primera es que el mineral de hierro está mucho más extendido geográficamente, ya que los dos componentes del bronce en ocasiones estaban muy alejados unos de otros. La segunda ventaja es que las armas de bronce se deformaban con mayor facilidad que las fabricadas con el hierro en estado puro que usaban en la época (Núñez y Paniagua, 2001).



Fig. 4 Armas y herramientas de hierro de la Edad de hierro

Fuente: (Norén, 2018)

El hierro tuvo un gran crecimiento gracias a la invención de la máquina de vapor de James Watt, en 1769. Esta máquina proporcionó un gran aumento en la industrialización del hierro, no solo porque estuvieran fabricadas de hierro, sino que, estas máquinas sustituyeron el método antiguo de inyección de aire de los hornos y convertidores mejorando y facilitando la fabricación tanto de hierro, como más adelante la del acero, ya que con esta máquina se conseguía una inyección de aire con una mayor presión (Apraiz, 1984).

Con la aparición de la máquina de vapor, apareció un elemento muy importante que desencadenó una gran demanda de hierro, y fue, el ferrocarril (Apraiz, 1984).

Otra de las grandes mejoras incorporadas a la fabricación del hierro y el acero, fue el uso de combustible mineral, como era el coque, que sustituyó al carbón vegetal proveniente de la madera, en 1784 (Apraiz, 1984).

Gracias a la aparición del carbón mineral, se acabó con una de las mayores preocupaciones que tenían en aquellas épocas, y es que la gran demanda de hierro, exigía una gran cantidad de combustible y, por consiguiente, estaban desapareciendo los bosques, sobre todo en Inglaterra (Apraiz, 1984).

1.2 Evolución en la fabricación del acero

1.2.1 Introducción del acero

El acero, era un material mucho más útil que el hierro, ya que aquel se puede temprar y con ello conseguir una dureza mucho mayor que el hierro. El primer método de obtención de acero se consiguió mediante un tratamiento superficial, la cementación. Consistía en cubrir una barra de hierro con carbón vegetal en un crisol, y se introducía en el horno durante varias horas a una elevada temperatura. De esta forma se obtenían barras de hierro que tenían una capa exterior con mayor porcentaje de carbono consiguiendo acero, un material con una mayor dureza en su superficie. La producción de este acero se destinaba a la fabricación de armas y armaduras, mientras que el hierro se usaba para elementos que requerían una menor resistencia, ya que la producción del acero era mucho más costosa (Apraiz, 1984).

A partir de este descubrimiento, la sociedad se centró en la búsqueda de obtener estos dos productos, el hierro y el acero (Apraiz, 1984).

El hierro se fabricaba en hornos bajos u hornos de pudelar (Fig. 5), en un principio, en forma de hierro esponja, pastoso y con impurezas. La evolución del horno bajo fue el alto horno (Fig. 6) y con él apareció un nuevo producto, la fundición (Apraiz, 1984).

La fundición era un producto intermedio entre el mineral de hierro y el hierro puro. Este elemento se conseguía obtener en estado líquido en el alto horno, ya que, gracias a su composición con alto contenido en carbono, tenía un punto de fusión más bajo que el hierro. Después de la obtención de la fundición se pasaba a un horno bajo de afino, u horno de pudelar, con el que transformaban la fundición en hierro mediante la eliminación del carbono (Apraiz, 1984).

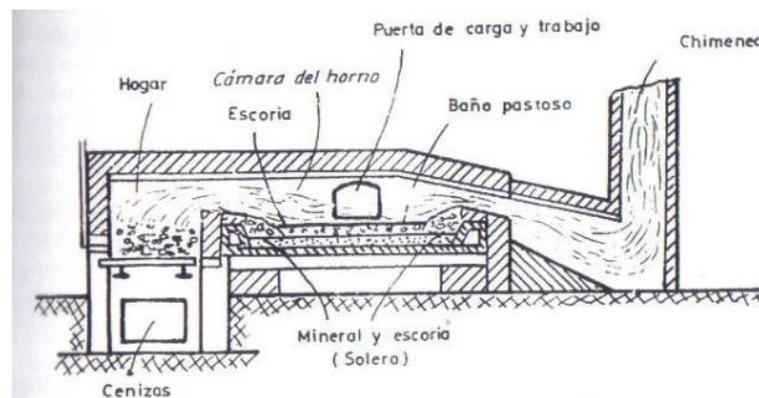


Fig. 5 Horno bajo o de pudelar

Fuente: Apraiz, 1984

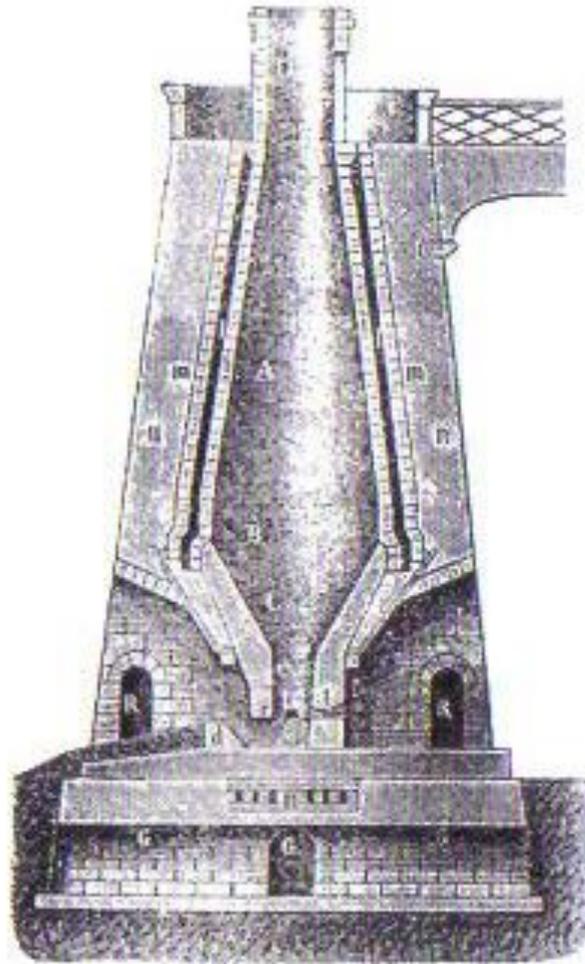


Fig. 6 Alto horno

Fuente: Apraiz, 1984

Una vez obtenido el hierro se realizaban los tratamientos necesarios para conseguir acero. Este método de cementación fue el utilizado hasta que, en 1740, Benjamin Huntsman probó a fundir el acero cementado en un crisol. Con este método obtuvo un acero más homogéneo y con muy pocas impurezas consiguiendo un acero de mayor calidad, ya que con el método de cementación solo era acero la superficie cementada. No se encontró un método que igualara la calidad del acero de Huntsman, hasta la aparición del horno eléctrico. El problema que tenía Huntsman era que los crisoles necesarios eran muy pequeños y, por lo tanto, se tenían producciones muy bajas y se tardaba mucho en conseguirlo (Apraiz, 1984).

La mejora y la producción de acero en grandes cantidades, se inició con el convertidor de Bessemer y con la posterior mejora del proceso de Thomas. Más tarde aparecieron otros métodos, entre los más importantes, el horno de Martin Siemens, el convertidor de oxígeno LD y el horno eléctrico (Apraiz, 1984).

El convertidor de Bessemer y los hornos de Martin Siemens fueron sustituidos por los convertidores de oxígeno LD y el horno Eléctrico, principalmente (Apraiz, 1984).

La aparición del convertidor de Bessemer, marcó un antes y un después en la siderurgia. A continuación, se refleja una serie de acontecimientos importantes en la fabricación e industrialización del acero, en orden cronológico (Apraiz, 1984):

- 1350 – Aparición del primer Alto Horno.
- 1740 – Benjamin Hunstman consigue fundir acero a partir de barras de hierro cementadas.
- 1784 – Primera vez en usar carbón mineral como combustible en alto horno.
- 1855 – Convertidor de Bessemer.
- 1867 – Horno Siemens.
- 1878 – Horno eléctrico.
- 1879 – Convertidor Thomas (Mejora del convertidor de Bessemer).
- 1950 – Colada continua.
- 1968 – Convertidor LD (Convertidor con oxígeno).

1.2.2 Inicios de la fabricación del acero

Sobre el 1200 a.C, cientos de años antes del descubrimiento del convertidor de acero de Bessemer, el acero se conseguía por cementación. Los únicos avances que existieron hasta Bessemer fueron en pequeñas mejoras que permitían aumentar un poco más su producción (Apraiz, 1984).

El proceso de la cementación, básicamente era el de cubrir trozo de hierro con carbón vegetal en un crisol de arcilla y se calentaba a unos 1000°C durante bastante tiempo consiguiendo la carburación del hierro. Para alcanzar la mayor temperatura posible, se usaba la ventilación forzada en los hornos, mediante los tubos de madera o bambú. De esta forma se obtiene una superficie mucho más dura y se permite realizar el temple de la pieza, consiguiendo aumentar así la dureza de la superficie cementada (Apraiz, 1984).

El proceso de cementación no era muy usual ya que, era un proceso muy lento y costoso y por ello estuvo en desuso hasta más o menos el año 1525. A partir de este año en Bélgica se volvió a recuperar el proceso y comenzaron a cementar barras de hierro de unos 20mm de espesor y 4 metros de largo. La cementación de estas barras duraba unos 20 días. Anteriormente a los belgas, el lugar donde que más se utilizó esta técnica de fabricación del acero fue en Grecia a finales del Siglo XI a.C. Esta aleación fue el material más usado en cuanto a la fabricación de armas, armaduras y herramientas, debido que tiene mucha más dureza que el hierro (Apraiz, 1984).

Después de la cementación, para poder conseguir una mayor dureza se introducía la barra de acero en el horno, después se sacaba y se bañaba en agua, realizando así el temple, que es uno de los primeros tratamientos térmicos que se descubrió (Apraiz, 1984).

Estos métodos de obtención tenían un problema, y es que, los aceros no eran homogéneos, ya que, la superficie y el interior no tenían la misma composición. La superficie tenía cierto contenido en carbono con propiedades de acero, pero el interior seguía siendo hierro en estado puro. Estos aceros en la superficie presentaban ampollas producidas por el monóxido de carbono que se producía en la combustión (Apraiz, 1984).

Con estos antiguos métodos, el grado de calidad del acero se determinaba por el tamaño de las ampollas, siendo de mayor calidad cuanto más pequeñas fuesen. Estos tipos de aceros presentaban varios defectos (Apraiz, 1984):

- Composición irregular, presentaba más carbono en el exterior que en el interior. Se podría decir que el acero es solo la superficie exterior que recubría al hierro de su interior.
- Inclusiones no metálicas.
- Barras de acero frágiles.
- Convertidor de Bessemer.

En ocasiones, en las civilizaciones que más dominaban la técnica de fabricación del acero, como eran la griega y la china, para conseguir un material más homogéneo en su interior, doblaban las barras de hierro cementado y lo martilleaban hasta unirlo de nuevo mediante la forja, de esta forma conseguían capas de acero en su interior. Esto lo realizaban sucesivas veces con el fin de mejorar la homogeneidad del material. En China se han encontrado espadas con hasta mil capas de acero en el interior de su hoja (Apraiz, 1984).

A partir del 1740, Benjamin Huntsman perfeccionó la cementación permitiéndole fundir pequeños trozos de hierro cementado en crisoles de arcilla consiguiendo aceros de calidad muy uniforme. El problema de este método era su limitada capacidad de producción y el alto coste de fabricación (Domínguez, 2013).

Con este tipo de producción de acero se conseguía aceros de muy alta calidad, y hasta que no apareció el horno eléctrico, ni el convertidor de Bessemer, ni el Horno de Siemens fueron capaces de alcanzar la calidad del método de Huntsman (Apraiz, 1984).

La producción del acero ha tenido una evolución a lo largo de la historia que se puede resumir en una serie de etapas distinguidas por los diferentes procesos utilizados, estas son (Aguilar, 1974):

- Predominio de los aceros de crisol. En este proceso tenemos como protagonista a Huntsman, que, en 1740, consiguió poner a punto el sistema del crisol consiguiendo fundir acero. Este método se mantuvo hasta 1860.
- Convertidor de Bessemer. Henry Bessemer consiguió el afino por conversión mediante soplado con viento en 1855 y su método conservo su papel primordial entre 1860 y 1910.
- Horno Siemens 1867
- Método Thomas 1879. Mejora del proceso de fabricación de Bessemer.
- El horno de arco eléctrico 1878. En un principio se usaba solo para aceros de alta calidad, pero más adelante fue cogiendo protagonismo en la fabricación de aceros al carbono.
- Colada continua 1950. Mejora del método productivo.
- Convertidor LD (Convertidor con oxígeno). Época de conversión mediante soplado con oxígeno, que en 1948 fabricó su primera colada. Aunque en un principio su integración y evolución fue lenta, posteriormente se aceleró llegando a sobrepasar el método Martin Siemens en 1970 como el método con

el que más cantidad de acero se produce. Este método estaba basado en la idea del convertidor de Bessemer.

1.2.3 Convertidor de Bessemer

Anterior al descubrimiento de Bessemer en 1855, las producciones de acero y hierro se conseguían en pequeñas cantidades debido a la dificultad que presentaba su proceso de fabricación. El hierro se obtenía en estado semisólido debido a que no se alcanzaba la temperatura de fusión del hierro. El acero se conseguía a partir de repetidas cementaciones y forjas, convirtiendo esto en un trabajo muy laborioso (Apraiz, 1984).

Henry Bessemer con su convertidor (Fig. 7), consiguió fabricar hierro fundido y acero por soplado. Uno de los factores que más motivo a Bessemer a comenzar a investigar sobre la fundición del acero, fue la demanda que exigió en aquel momento la evolución de la máquina de vapor y de los ferrocarriles. Estos exigían cada vez una mayor demanda de hierro y acero que no se podía abastecer con las técnicas existentes, ya que los hornos de pudelar, hornos bajos y hornos de crisol no tenían posibilidad de ello (Apraiz, 1984).

Bessemer fue el que se inició en el estudio de la transformación masiva del arrabio en acero, consiguiéndolo en 1856. La conversión de arrabio en acero lo realizaba en horno de crisol basculante en el que eliminaba las impurezas del arrabio líquido y reducía su contenido de carbono al inyectar aire por la parte inferior del horno. Al oxidar el carbono las impurezas salen a flote sobre la superficie del acero líquido formando la escoria. Una de las ventajas del invento de Bessemer, es que a la hora de mantener en estado líquido el arrabio no se necesitaba combustible, ya que la reacción entre el carbono y el oxígeno es una reacción exotérmica y libera energía al entorno que le rodea, de esta forma permite mantener la carga fundida (Domínguez, 2013).

En un principio, la idea de Bessemer no funcionó industrialmente, porque el material refractario de su crisol era de tipo ácido, ladrillos con mucha sílice, y no conseguía eliminar el fósforo del arrabio. Aquí viene el desarrollo de Thomas y Gilchrist, que hicieron hornos de material refractario básico y echaron trozos de sílice para que reaccionara con el fósforo y la sílice, de esa forma las escorias subían a la superficie y se podían eliminar fácilmente. Esto ocasionó que toda la industria avanzara considerantemente y se haya alcanzado el desarrollo industrial actual. A partir de aquí comienza la época moderna del hierro y del acero (Apraiz, 1984).

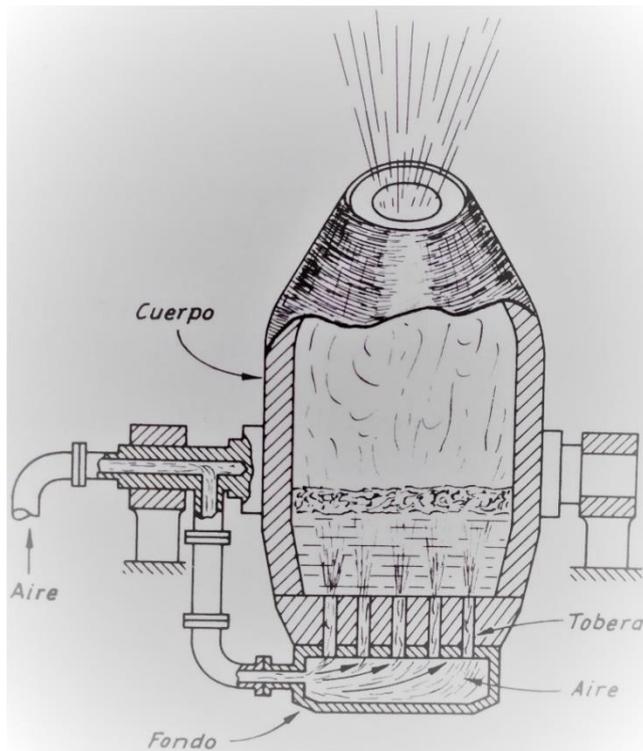


Fig. 7 Esquema del convertidor de Bessemer

Fuente: (Apraiz, 1984)

La producción de hierro y acero tuvo un crecimiento exponencial llegando a conseguir en el año 1900, 27 millones toneladas. Pero no solo aumentó la producción del acero, también aumentó la del arrabio, que era mucho mayor que la de hierro y acero porque se utilizaba más, hasta que, en 1950 se igualaron en producción en 80 millones de toneladas (Apraiz, 1984).

La producción de acero con el método de Bessemer fue la más importante hasta comienzos del siglo XX, donde la producción de acero mediante el horno Siemens, logró conseguir el primer lugar (Apraiz, 1984).

En los convertidores de Bessemer, se consigue transformar una fundición frágil de entre un 3 y 4.5 % en carbono, a un acero de 0.1% en carbono tenaz, maleable y dúctil. El desarrollo de su idea consistió construir un horno pudelar con un conducto por el que introducir aire a través de un ventilador, sobre la superficie del baño de hierro fundido. Algo así, ya intentó el estadounidense William Kelly en 1847. Con este método se aceleró la oxidación de la fundición. Finalmente, su inicial idea consistía en un horno de reverbero, con una solera donde se deposita el hierro fundido, unos conductos para introducir aire mediante soplado, un canal de ventilación y una chimenea para que salieran los humos (Apraiz, 1984).

Con este método, llegó a ver que la superficie de esta fundición tenía una menor cantidad de carbono. De ahí que se le ocurriera que si insuflaba aire a presión a través de la fundición conseguiría una descarburación más homogénea. Para ello metió hierro fundido en un crisol, recubierto de coque para calentar su exterior, y con un tubo vertical

que introducía aire en el interior del metal fundido. Con sus continuos experimentos, Bessemer observó que la fundición perdía su carbono rápidamente y por ello se deshizo de la idea del calentamiento por coque exterior y construyó, lo que pasará a ser, el convertidor Bessemer. Consistía en un recipiente de 700mm de diámetro y 1200mm de alto, con y unas toberas practicadas a sus laterales, un agujero para que saliera la colada por la parte inferior y un canal de carga de la fundición, que previamente se fundía en un horno de cubilote. Al meter el hierro fundido en el convertidor, se insuflaba aire a presión por las toberas consiguiendo una rápida conversión del arrabio en acero y sin necesidad de combustible, ya que el Si, Mn, Fe y C que contenía la fundición, al reaccionar con el oxígeno producía una reacción exotérmica generando una gran cantidad de calor, que elevaba la temperatura del baño metálico de 1250°C a 1650°C. Por tanto, el 11 de agosto de 1856, publicó su descubrimiento a la British Association for the Advancement of Science (Apraiz, 1984).

Una vez se industrializó el proceso de Bessemer, se fueron haciendo avances tecnológicos con el objetivo de elevar su producción. Se construyeron hornos rotatorios para homogeneizar aún más el material, se aumentó el tamaño de los hornos, el material fundido se aportaba de los altos hornos en vez de los de cubilote... (Apraiz, 1984).

Por todo esto el Bessemer fue el primero que logró fabricar acero en estado líquido industrialmente, consiguiendo aceros con un porcentaje de carbono entre un 0.1% y 0.7% (Apraiz, 1984).

Bessemer tuvo varios problemas con el fósforo, el azufre y el oxígeno. El elevado fósforo y el bajo manganeso presente en algunas fundiciones hacía muy frágil al material obtenido. Tuvo problemas también con otros tipos de fundiciones que tenían elevado contenido de azufre, que impedía la forja y laminación del material obtenido, porque formaba sulfuros de azufre alrededor de los granos de hierro. A todo esto, se le sumó que, para obtener un acero con muy bajo contenido en carbono, tenía que insuflar una gran cantidad de aire y esto hacía que se le oxidara y se produjeran poros y sopladuras en los lingotes (Apraiz, 1984).

La solución a estos problemas fue, utilizar minerales con menor contenido en fósforo, y usar aleaciones de hierro y manganeso en el baño para desoxidarlo. Esta última solución lo consiguió gracias a Robert Mushet que el 22 de septiembre de 1856 patentó el empleo de las aleaciones de manganeso en la fabricación de acero (Apraiz, 1984).

Una característica muy peculiar del procedimiento de Bessemer es que era muy rápido producir acero. El proceso de Bessemer tardaba apenas 15 minutos y el procedimiento de la fabricación de acero de pudelado tardaba 2 horas (Apraiz, 1984).

Estas son algunas de las ventajas frente a los procesos anteriores al convertidor de Bessemer para fabricar acero (Apraiz, 1984):

- Producciones mucho mayores que las de horno pudelar.
- Mejor calidad que las de horno pudelar.
- Se fabricaba con facilidad aceros entre 0.1% y 0.7% y en los de pudelar no se podía.

Estas son algunas de las ventajas del convertidor de Bessemer, frente a algunos de los procesos que aparecieron más tarde (Apraiz, 1984):

- Se obtenía acero más rápido, que en los procesos de los hornos Siemens o eléctricos.
- El coste de la instalación y del acero era más bajo.
- No era necesario obtener como materia prima chatarra.

Inconvenientes frente a otros procesos:

- Sólo se admitía fundiciones de bajo contenido en fósforo.
- Aceros de menor calidad que los producidos en hornos Siemens y eléctricos básicos. Ya que no se puede eliminar ni el fósforo ni el azufre.
- La composición de la fundición debía de estar en una estrecha franja de contenido en silicio, azufre y fósforo.

El principal problema de este acero es que tenía un elevado contenido en Nitrógeno, lo que hace que sea poco dúctil, y esto conllevaría a que no fuera válido para fabricar chapa fina dedicada a trabajos de embutición en frío, que es lo que principalmente se usa en la fabricación de carrocerías de automóviles (Apraiz, 1984).

Lo que hizo crecer el método Bessemer y posteriormente los de Thomas fue que, en el último tercio del siglo XIX, se realizó el mayor desarrollo del ferrocarril y, sus railes, chapas gruesas y barras de acero, cumplían exitosamente las exigencias de ese momento (Apraiz, 1984).

El sistema de fundición Bessemer se daría por obsoleto en 1966, cuando se estaban desmontando los últimos convertidores Bessemer y se sustituyeron por convertidores soplados por oxígeno (Apraiz, 1984).

1.2.3.1 Descripción de las instalaciones de una acería Bessemer

La fundición y el arrabio proveniente del alto horno se acumulaba en un recipiente metálico llamado mezclador. Las paredes de su interior son de material refractario. Estos mezcladores tenían un sistema para calentar la fundición impidiendo que su temperatura bajara de su temperatura admisible (Apraiz, 1984).

En un cubilote auxiliar se funden aleaciones de hierro y se introducen a elevada temperatura en el convertidor (Apraiz, 1984).

En el convertidor se introduce la fundición del mezclador y del cubilote auxiliar. Este convertidor con la forma de un gran crisol, podía girar alrededor de un eje horizontal. Se divide en dos partes; el cuerpo y el fondo (Apraiz, 1984).

El cuerpo consistía en una placa metálica recubierta de arenisca en su interior, obteniendo un espesor de pared de 600mm, mientras que el fondo es de metal y en él, se encajaban las toberas para introducir el aire a presión. Los fondos solían tener unas 20 toberas. Estas toberas entraban en contacto con el metal fundido, por lo tanto, el lugar en

el que se introducían estaba constituido por un material refractario de unos 800mm de espesor (Apraiz, 1984).

La fabricación de acero en una acería con un convertidor Bessemer (Fig. 8) tiene los siguientes pasos (Apraiz, 1984):

- 1- Se vierte la fundición que proviene del alto horno en el mezclador
- 2- En el mezclador se vierten los aditivos en la fundición y se mantiene el metal fundido caliente calentándolo con fuel-oil o gas.
- 3- Del mezclador se lleva a la cuchara y de ahí se pasa al convertidor.
- 4- El convertidor para cargarlo se gira y se pone en horizontal.
- 5- Se pone el convertidor en posición vertical y se echa la cantidad de cal correspondiente.
- 6- La cal se carga mediante los tubos que salen por la parte inferior de unas tolvas dispuestas encima del convertidor.
- 7- La carga de las tolvas de cal y aditivos se hacen mediante unas vagonetas, suspendidas por encima de las tolvas.
- 8- El convertidor aparte de aditivos también se carga con chatarras.
- 9- El convertidor tiene una campana para cubrir y evitar que salgan los gases y las proyecciones.
- 10- Mediante un tubo se inyecta aire al convertidor, que se introduce por el fondo agujereado.
- 11- Una vez terminado el proceso de fundición del acero, se vierte la colada de acero en una cuchara que tiene un dispositivo de buza y tapón, para después verterlo en las lingoteras.
- 12- Después de varias coladas se hace la inspección y reparador de los refractarios.

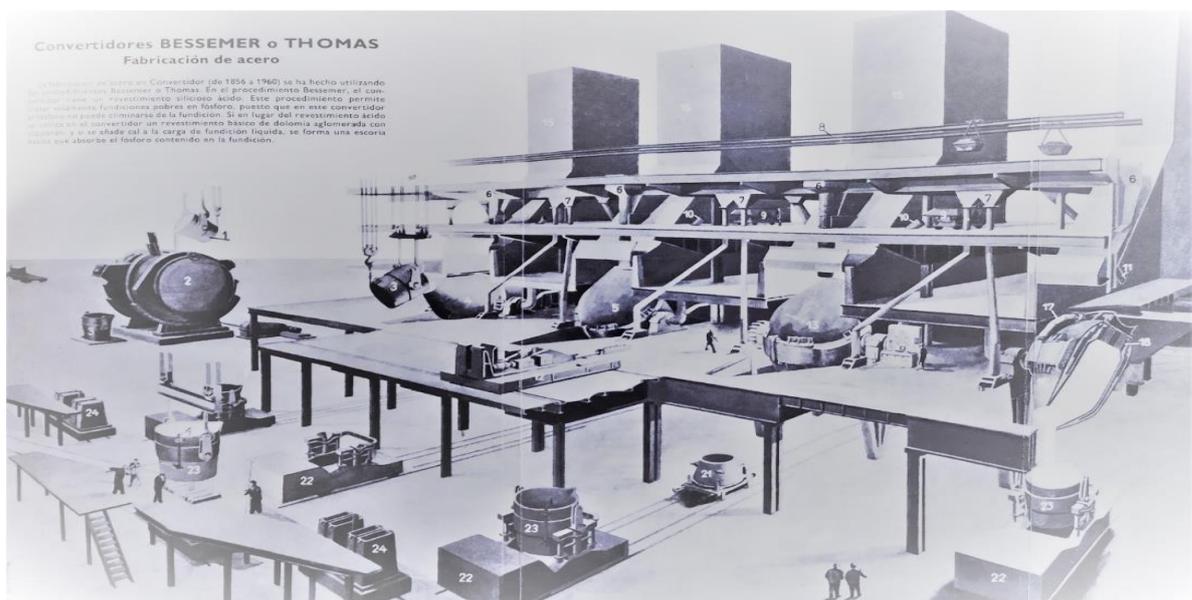


Fig. 8 Esquema de una acería con convertidor Bessemer

Fuente: (Apraiz, 1984)

1.2.4 *Convertidor de Thomas*

En Inglaterra y Suecia el invento de Bessemer tuvo mucho éxito. El problema lo tenían en Europa Central, que al consumir un tipo de hierro con alto contenido en fósforo no les convenía usar el convertidor de Bessemer, porque no podían eliminar el fósforo presente (Apraiz, 1984).

Para solucionar este problema, Sídney Gilchrist Thomas, en 1850, estudio la forma de eliminar el óxido de silicio con alguna escoria calcárea, que era de la única forma que podría hacerlo. Estas escorias no podrían producirse teniendo un revestimiento silicioso ya que si se combina la cal con la sílice, que constituye un revestimiento ácido, esta destruiría la cal. Thomas estudió la forma de conseguir un recubrimiento con un material de carácter básico. Para ello construyó un convertidor con recubrimiento interior de silicio, cal y arcilla. De esta forma consiguió obtener acero de buena calidad. Más tarde sustituyó este revestimiento y lo hizo de dolomita calcinada, que es un óxido de calcio y magnesio (Apraiz, 1984).

En 1875 demostró que el convertidor de Bessemer conseguía transformar el arrabio en acero de forma exitosa si la pared del horno se revestía con materiales refractarios de carácter básico, como puede ser el óxido de magnesio. De esta forma impedía que se generara la reacción del fósforo y la sílice con la pared del convertidor, y para eliminar estas impurezas añadía trozos de piedra caliza. Este proceso generaba mucha más escoria básica con alto contenido en fósforo (Domínguez, 2013).

Este descubrimiento lo comunicó al Instituto del Hierro y del Acero, en Londres, el 7 de mayo de 1879 (Apraiz, 1984).

En el año 1904, ya el 50% de la producción de acero se hacía con el convertidor de Thomas y hornos de Siemens básicos. Hay que decir que el descubrimiento de Thomas permitió avanzar al horno de Siemens, ya que estos tenían un problema similar (Apraiz, 1984).

A partir de este descubrimiento prácticamente toda la producción de acero se realiza en hornos con revestimiento de material refractario básico (Apraiz, 1984).

1.2.4.1 *Descripción de las instalaciones de las acerías de Thomas*

De estas instalaciones se puede decir que son igual que las de Bessemer, salvo pequeñas diferencias. Los convertidores de Thomas suelen ser más grandes y su interior está constituido por bloques de ladrillos de dolomita calcinada y después recubiertos de dolomita aglomerada con alquitrán, el fondo es también de dolomita aglomerada con alquitrán y tiene del orden de unos 200 agujeros de 20mm de diámetro. Otro cambio es que se necesita una presión superior de aire para que no se queden dentro las escorias del fósforo (Apraiz, 1984).

La descripción de la acería Thomas la podemos ver en la Fig. 8, ya que el funcionamiento es el mismo, que una de Bessemer.

1.2.4.2 Procedimiento de operación

El proceso de fabricación en una acería de Thomas tenía las siguientes fases (Apraiz, 1984):

- 1- Carga de arrabio o fundición líquida
- 2- Comienzo del soplado y giro del convertidor
- 3- Oxidación del silicio y el manganeso
- 4- Oxidación del carbono
- 5- Desfosforación y sobrosoplado, mediante la adicción de cal a la fundición.
- 6- Desescoriado
- 7- Adicción de desoxidantes, descarburantes y cal
- 8- Colada
- 9- Inspección del revestimiento refractario y reparación.

1.2.4.3 Variantes en el proceso Thomas

Entre los años 1939 y 1960, debido a querer disminuir el porcentaje de nitrógeno en el acero, en vez de introducir aire, se empezó a introducir oxígeno y mezclas de oxígeno y vapor de agua. Se llegó a reducir el nitrógeno hasta un 0.006%, ya que este es perjudicial en el acero. Con esta innovación se redujo el tiempo de soplado y se produjo un acero de mejor calidad, también se produjo un aumento del número de instalaciones. Un gran inconveniente que tenían estos convertidores era que el oxígeno realizaba un gran desgaste en el material refractario cercano a las toberas (Apraiz, 1984).

Con el método de inyección de mezclas de oxígeno y vapor, se consiguió un menor contenido de nitrógeno llegando a tener el 0.02%. También se redujo el tiempo de soplado. A parte de esto, también se practicó un doble desescoriado ya que cada vez se exigía una mejor calidad en el acero llegando a conseguir un porcentaje en carbono del 0.02%. Estos avances permitieron a las acerías Thomas competir con el acero Siemens. El problema de este método es que era más caro que el de inyección de aire y que el de inyección de oxígeno (Apraiz, 1984).

Para ser más competitivos, muchas de las acerías tenían la capacidad de trabajar con los 3 métodos de forma intercambiable para hacer variedades de calidades de acero (Apraiz, 1984).

Para el método Thomas surgió un competidor en 1952, que se llamara LD, soplado por lanza de oxígeno por la boca del convertidor (Apraiz, 1984).

1.2.5 Horno Siemens

A Principios del siglo XIX se buscaba la forma de fundir hierro y acero en hornos de solera por medio de chatarras de hierro, acero y fundición (Apraiz, 1984).

En 1864, el francés Pierre-Émile Martin consiguió producir acero a partir de arrabio y chatarra (Domínguez, 2013)

En 1867, William Siemens fabricó acero en un horno de regeneración con el que alcanzaba temperaturas mucho más altas, a partir de arrabio. Siemens aprovechaba los humos del horno y los hacía pasar por un entramado de ladrillos refractarios para aumentar su temperatura. Después se pasaba por el entramado de ladrillos el aire que se inyectaba en el convertidor y, este se precalentaba consiguiendo elevar bastante la temperatura de la llama (Domínguez, 2013)

Este nuevo método consistía en un horno con cámaras de regeneración tipo Siemens, que permitía alcanzar una temperatura en la solera entre 1600 y 1650°C, muy superior a las temperaturas que se alcanzaban con estos hornos utilizados anteriormente para pudelar (Apraiz, 1984).

El sistema de regeneración de Friedrich Siemens fue el primer método que permitió fundir hierro en horno de solera. Este sistema de regeneración lo patentó en 1856, pero el que lo implantó en un horno de solera fue su hermano William Siemens. A William es al que se le otorga el descubrimiento de la fabricación de acero en hornos de solera (Apraiz, 1984).

William Siemens se dedicaba a la construcción de hornos industriales, máquinas de vapor, aparatos de comunicaciones (Apraiz, 1984).

En un principio los hermanos Siemens, tuvieron la idea de aprovechar el calor de los humos para precalentar el aire y el combustible gaseoso. Esta idea la relacionaron con la máquina de vapor y no tuvo éxito, pero William lo adaptó a los hornos industriales y consiguieron elevar mucho más la temperatura de estos (Apraiz, 1984).

Al ver su utilidad, Friedrich Siemens, patentó su invención con el título de Procedimiento Siemens de regeneración de calor el 2 de diciembre de 1856, y más tarde, el 11 de mayo de 1857, William y Friedrich Siemens lo pusieron el nombre de Aplicación del principio de regeneración del calor a la fusión de metales (Apraiz, 1984).

En 1858, se construyó el primer horno experimental con regeneración de calor y fue usado para fabricar vidrio, destilar cinc y para calentar barras de hierro y acero (Apraiz, 1984).

En 1861, William Siemens descubrió el uso de un gas combustible que sustituiría al carbón, que es el único combustible que se usaba en los hornos metalúrgicos. Lo que hizo fue, construir una cámara llamada gasógeno, que las llenaba de carbón y lo calentaba por el exterior a 600°C consiguiendo una combustión incompleta del carbón, y que, al pasarlo por una corriente de aire, se conseguía un gas compuesto por monóxido de carbono e hidrogeno. Esta invención del gas la realizó William Murdock en 1795 y Siemens fue el que buscó su utilidad en el proceso de fundición. La utilidad que se dio a este gas, marcó una importante etapa en el desarrollo y evolución de los hornos industriales (Apraiz, 1984).

Con estos nuevos avances William Siemens utilizó su horno para fundir acero con alto contenido en carbono, que previamente se había fundido en un horno de crisol. En 1866 se construyó el primer taller de fundición de acero con un horno provistos con regeneradores (Apraiz, 1984).

El procedimiento de este horno era muy similar al de pudelado, la diferencia es que se permitía que la carga estuviera fundida durante todo el proceso, ya que se alcanzaba mucha más temperatura. Estos hornos tenían cuatro cámaras de regeneración de calor, dos eran para precalentar el gas y dos para el aire (Apraiz, 1984).

En la Fig. 9, podemos ver el esquema de un horno Siemens, donde se puede ver los quemadores de fuel-oil que precalientan el aire, las cámaras de regeneración y la solera del horno, que es donde se funde el acero. El aire precalentado con los gases de combustión se inyecta sobre la superficie del acero con la mayor temperatura posible consiguiendo unos 1700°C.

William Siemens en 1869, empezó a producir acero en la fábrica de Landore, usaba carriles viejos de ferrocarril y fundición como materia prima. El contenido en carbono lo rebajaban mediante adicciones de mineral (Apraiz, 1984).

Paralelamente a la época en que Siemens emprendía sus inicios en la fabricación de acero, Pierre Martin, en Francia tuvo la idea de fundir chatarra con lingotes de hierro en hornos de reverbero y adaptó los regeneradores de calor Siemens que compró. La idea de conseguir alta temperatura en el horno, era como la de Siemens, pero la forma en cómo conseguir el hierro no. Mientras que Siemens quería conseguir acero fundido oxidando la fundición con adicciones de mineral de hierro principalmente, Martin lo intentó con mezclas de chatarras (Apraiz, 1984).

En 1863 Martin logró fundir acero de alto contenido en carbono, esta vez en un horno de solera (Apraiz, 1984).

Antes que patentara Siemens en el año 1867 su procedimiento de fabricación de acero denominado proceso de fundición y mineral, Martin patentó el 28 de julio de 1865 su proceso llamado proceso de fundición y chatarra (Apraiz, 1984).

Martin obtuvo la licencia para fabricar el horno de William Siemens y con ello desarrollar su método de fabricación de acero mediante chatarra y arrabio. Aunque William Siemens fue el que desarrollo el método de producción de acero en un horno de hogar abierto, el proceso de obtención de acero a partir de arrabio y chatarra, fue lo que logró mayor difusión (Domínguez, 2013).

Este proceso de obtención de acero se llama Martin -Siemens y, en estos procesos se suele usar un 70% de chatarra y un 30% de fundición. Sin embargo, al tipo de horno con regeneración de calor, se le llama horno Siemens, ya que fue invención de William Siemens (Apraiz, 1984).

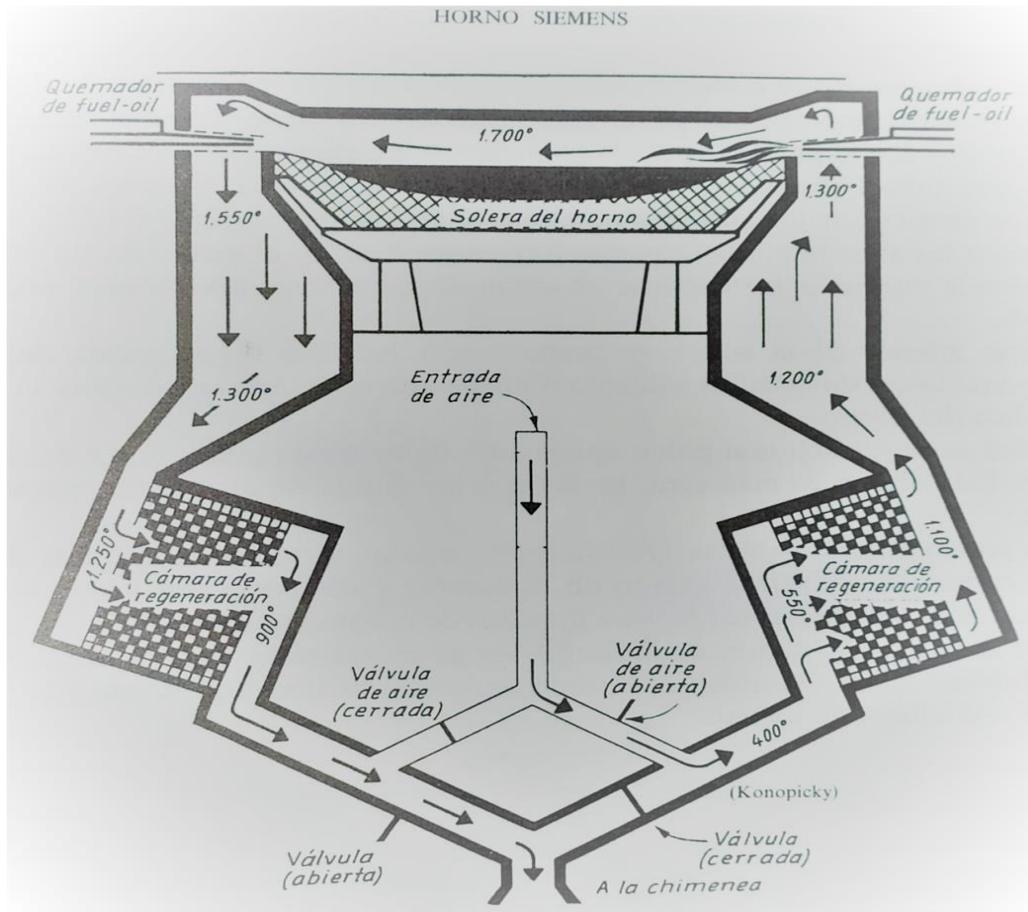


Fig. 9 Esquema de un horno Siemens

Fuente: (Apraiz, 1984)

Con el paso de los años se fue avanzando en las técnicas y procesos de fabricación. Dos de los cambios más importantes que se introdujeron fueron los cambios del material refractario de ácido a básico y el empleo inyección de oxígeno en los hornos (Apraiz, 1984).

Otra de las modificaciones más importantes que se introdujeron en el proceso Martin-Siemens es la introducción de un horno rotatorio en 1872 que permitiera mejorar el suministro de las grandes cargas y la salida de las escorias. También fue muy importante la incorporación del mezclador en 1889 que eliminaba la necesidad de pasar la fundición directamente del alto horno al horno conversión de acero y permitiendo que no se produjeran irregularidades en la calidad del acero (Bidez, 1920).

En algunas ocasiones se usaba un método llamado <<Duplex>> que consistía en transformar primero parcialmente la fundición de acero en un convertidor Bessemer y se completaba la transformación en un horno Martin Siemens (Bidez, 1920).

Durante los años 1948 y 1949 la producción de acero se distribuía de la siguiente forma (Tabla 1):

% DE PRODUCCIÓN			
	BESSEMER THOMAS	MARTIN SIEMENS	ELÉCTRICO
Europa 1948	32,2	59,3	8,5
Europa 1949	36,5	55	8,5
EE.UU 1948	4,7	89,7	5,6

Tabla 1 Porcentaje de producción total de acero por cada método

Fuente: (Fernández,1950)

En Estados Unidos predomina la fabricación por los sistemas de fabricación de Martin Siemens con mucha diferencia respecto al procedimiento de Thomas y Bessemer, mientras que en Europa tiene bastante presencia en la producción total el método de Thomas y Bessemer (Fernández, 1950).

En la producción mediante horno Siemens se trabajaba con abundante chatarra y en un principio, los costes de producción no eran muy elevados. El problema es que, en la primera mitad del siglo XX, se produjo un gran aumento de la demanda de acero y se tuvo que elevar la producción. Para ello hicieron mejoras en los altos hornos y en la capacidad de producción de coque, pero la chatarra empezó a escasear y a elevar su precio. Por este motivo el acero producido mediante horno Siemens se encarecería y se complicaría más la producción por este método (Fernández, 1950).

1.2.5.1 Hornos Siemens ácidos y básicos.

Gracias al descubrimiento de Thomas de usar los materiales refractarios básicos, los hornos Siemens fueron cambiando poco a poco. A partir del 1878 las soleras de los hornos fueron cambiando de materiales ácidos a básicos. A este método le ocurría lo mismo que al de Bessemer, y es que, al tener la solera con revestimiento ácido, no podía eliminar el fósforo y el azufre de las materias primas. Al hacer el cambio de las soleras, con revestimientos de dolomita calcinada consiguieron aceros de mucha calidad. Hacia 1880 se inició el gran desarrollo del horno Siemens y consiguió las ventajas necesarias sobre el convertidor de Bessemer, ya que anteriormente no podía competir con él porque era mucho más rápido y la calidad del acero era similar (Apraiz, 1984).

Los hornos Siemens tenían un proceso más lento, y esto le otorgaba la ventaja de controlar mucho más la composición final del acero consiguiendo una mayor calidad que presentaba un menor contenido de nitrógeno respecto a los de Thomas y Bessemer (Apraiz, 1984).

1.2.5.4 Descripción de una instalación Siemens.

Consta de las siguientes partes (Apraiz, 1984):

- Nave de gasógenos (Existió hasta 1950).
- Parque de chatarra.
- Horno Siemens.
- Nave de colada.

En la siguiente imagen podemos ver representado como sería la instalación de una acería con horno Siemens. (Fig. 11)

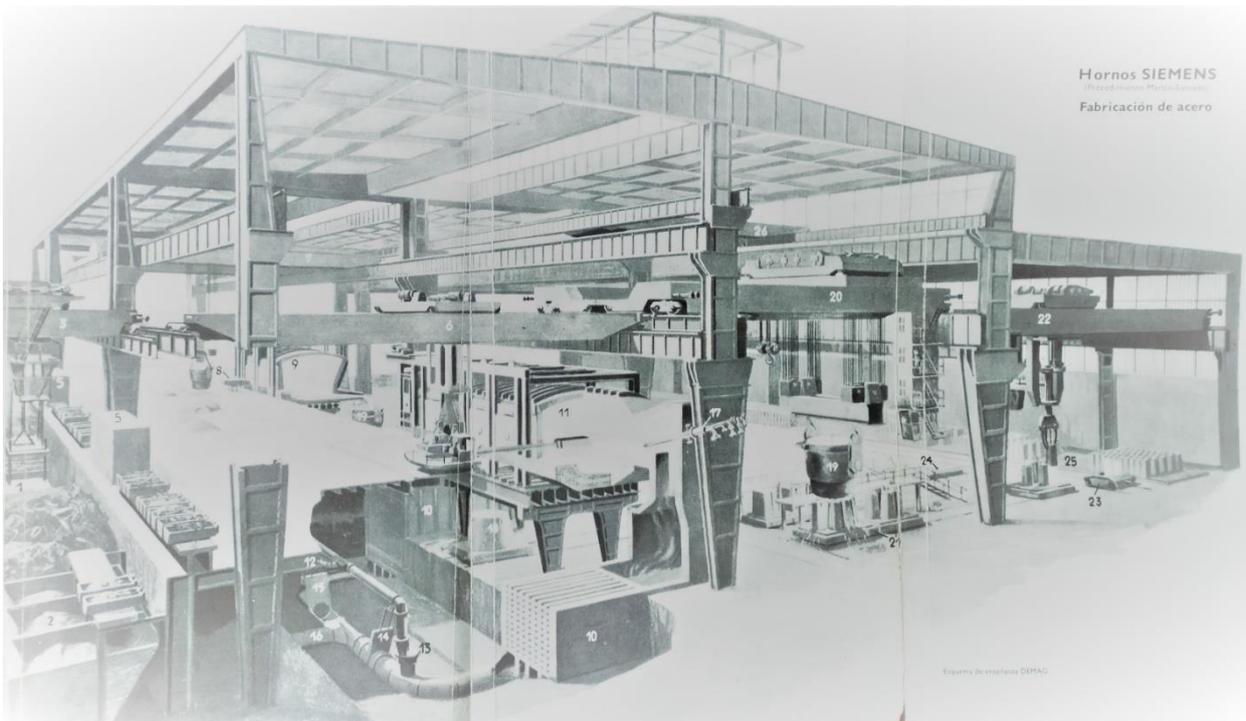


Fig. 11 Representación de una instalación con horno Siemens

Fuente: (Apraiz, 1984)

1.2.5.5 Descripción de un horno Siemens

Un horno Siemens sencillo tiene los siguientes elementos (Apraiz, 1984):

- Cámara del horno: Es donde se fabrica el acero. Suele ser rectangular y tanto el fondo como la altura oscila entre 3 y 6m. Tiene una solera con forma de cubeta elíptica, ligeramente inclinado al agujero de salida de la colada. El horno se calienta mediante una llama producida por el combustible gaseoso, que le aporta calor en por ambos lados del horno alternativamente cada 20 minutos.
- Estos hornos suelen ser fijos.
- Quemadores: Están situados en las paredes laterales, y son unas bocas por las que llega el combustible y el aire al horno y se queman en su interior.

- Escorieros: Son unas cámaras en las que se recoge la escoria que salen por los humos de la cámara del horno. Estos escorieros cambian la dirección del aire y evita que la escoria y el metal que va a escapar con los humos obstruyan los conductos.
- Regeneradores de calor: Los humos de la combustión salen por donde llega el aire, de forma alternativa y el gas combustible, y estos calientan el emparrillado de los regeneradores de calor. Este calentamiento se produce debajo del horno. Estos humos procedentes de la combustión están a unos 1700°C en la cámara del horno y a unos 500°C en la chimenea, ya que ha perdido temperatura al pasar por las sucesivas cámaras que debe precalentar.
- Conductos de gases y humos: Conducen los gases de la combustión de las cámaras del horno a las recamaras para calentarlas, de ahí a las válvulas y finalmente a la chimenea. Estos conductos están recubiertos de material refractario.
- Válvulas: Es una de las partes más delicadas de los conductos. Su función es cambiar la dirección de los humos y de la entrada del aire.
- Chimenea o tiro forzado: En un principio se usaba una chimenea de tiro natural, pero en los últimos años se usaba ventilación forzada por ventiladores.

1.2.6 *Horno de arco eléctrico*

A partir de 1800 ya se produjeron las primeras pilas de Volta para producir energía eléctrica. Mediante la corriente eléctrica en 1810, Sir Humphry Davy entre otros logros, consiguió fundir experimentalmente metales. A partir de estas investigaciones, se buscó su utilidad en el calentamiento de crisoles, ya que con el arco eléctrico se alcanzaban temperaturas superiores a los 3000°C (Apraiz, 1984).

El día 17 de enero de 1867, Werner Siemens realizó el descubrimiento de la dinamo para producir energía eléctrica. Más tarde, en el año 1870, Werner y William Siemens buscaron una aplicación de la electricidad en la metalurgia. Siendo finalmente en 1878, cuando William patentó el primer horno eléctrico de arco con electrodos horizontales para fabricar acero. En 1879 patentó su segundo horno, este con un electrodo superior y otro inferior que atravesaba la solera del horno. El suministro de energía eléctrica lo conseguía con unos dinamos que inventó Werner (Apraiz, 1984).

Los avances con estos segundos hornos fueron extraordinarios y los puso a prueba frente a los participantes del congreso de electricidad de Londres, mostrándoles en 1880, la capacidad de su horno fundiendo 10Kg de acero en 1 hora, 4 kg de platino en 15 minutos y una pequeña cantidad de Wolframio, que tiene una temperatura de fusión de 3410°C. Este invento fue un gran avance, pero Siemens no lo llegó a materializar industrialmente debido a diversos problemas. No obstante, difundió sus conocimientos y avances (Apraiz, 1984).

Siguiendo los avances de Siemens, el francés Paul Héroult se especializó en la construcción de hornos para realizar aleaciones férricas y carburos de calcio mediante simples hornos de arco eléctricos con un electrodo vertical y una solera conductora. Más tarde empezó con la fabricación de acero y consiguió fundir industrialmente acero por primera vez en un horno eléctrico en 1900. En 1901, como sus hornos eran fijos, les acoplo

un mecanismo basculante para mejorar la salida del acero fundido y la separación de la escoria. Otras personas buscaron la forma de mejorar el proceso con variantes del horno de Heroult, pero los de este fueron los que más se utilizaron universalmente. Estos hornos tenían 3 electrodos superiores y una solera conductora (Apraiz, 1984).

Actualmente siguen siendo similares a los de Heroult con 3 electrodos verticales y el arco salta entre ellos y la chatarra, la dimensión de estos electrodos varía entre 100 y 700mm de diámetro. Ya en el año 1950 desaparecieron los hornos de crisol y fueron completamente sustituidos por los eléctricos. Se consiguió elevar la capacidad de estos hornos hasta 25 toneladas (Apraiz, 1984).

Dos de los tipos de hornos eléctricos más usados son el horno de arco eléctricos y el horno de inducción. Los hornos eléctricos de arco tienen la ventaja de que se adaptan fácilmente a un amplio tipo de cargas metálicas pero sus electrodos son muy costosos. Sin embargo, los hornos eléctricos de inducción tienen problemas cuando las cargas son de gran capacidad, aunque son ventajosos en cuanto a la variedad de materiales que pueden obtener (Madias, 2010).

En la siguiente imagen (Fig. 12), podemos ver cómo es interiormente un horno eléctrico de arco con revestimiento ácido – básico:

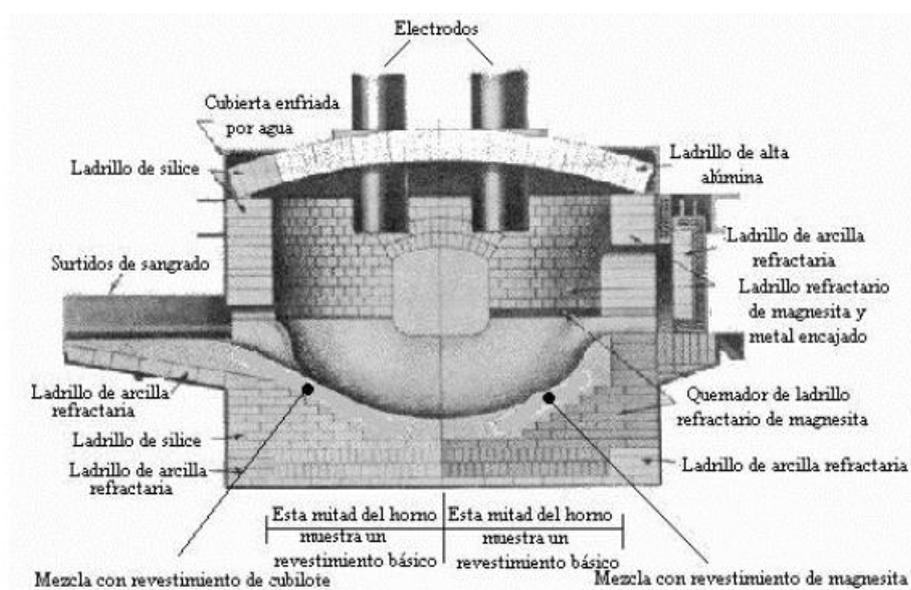


Fig. 12 Sección de un horno de arco eléctrico con revestimiento ácido y básico.

Fuente: (tareasuniversitarias.com)

En 1930 se instaló en Estados Unidos el primer horno eléctrico que tenía una capacidad de fabricar 100 toneladas de acero (Apraiz, 1984).

En 1974 se llegó a conseguir un 18% de la producción mundial de acero, llegando a fabricar 710 millones de toneladas por medio del horno de arco eléctrico (Apraiz, 1984).

Estos hornos también tuvieron su clasificación en cuanto al material refractario de sus revestimientos, teniendo hornos básicos y ácidos. Los básicos son los que más se usaban igual que en los anteriores tipos (Apraiz, 1984).

Los hornos se empezaron a mejorar y a aumentar su potencia, los que se empezaron a usar a mediados de siglo XX tenían una potencia de entre 200 y 400 kVA por tonelada de acero y entre los años 1960 y 1975 se emplean transformadores con potencia variable entre 400 y 800 kVA por tonelada, teniendo una tensión de trabajo para producir el arco eléctrico entre los electrodos y la chatarra entre 80 y 500V y una intensidad de corriente de 1000 a 50000 A (Apraiz, 1984).

1.2.6.1 Ventajas

La instalación de estos hornos es mucho más barata que cualquiera de los otros, ya que, los hornos Siemens y los convertidores son caros. Estos hornos son asequibles para pequeñas acerías ya que se evitan el alto horno y el convertidor. Y tienen gran utilidad para ponerlos delante de un tren de laminación (Apraiz, 1984).

La fabricación por horno eléctrico proporciona un acero de mejor calidad que cualquier otro proceso, debido a que este facilita más la formación de una atmosfera no oxidante y el medio con el que produce la energía no contiene azufre (Bidez, 1920).

Estos hornos no hace falta que se carguen con arrabio como los hornos Siemens y los convertidores, sino que simplemente vale con la chatarra y sus aditivos, obteniendo la ventaja de que la chatarra se puede conseguir en muchos mercados. Sin embargo, los otros métodos están sujetos a que los grandes grupos siderúrgicos les proporcionen grandes cantidades de arrabio o lingotes de hierro (Apraiz, 1984).

1.2.7 Convertidor de acero soplado por oxígeno, sistema LD

Este método es el más usado desde el año 1968 en la fabricación del acero. Se empezó a desarrollar en el 1952 y tardó muy poco tiempo en desbancar a los anteriores métodos. En el año 1975 ya se realizaba el 60% de la producción mundial de acero con este método (Apraiz, 1984).

Este método se llevó a cabo gracias a Robert Durrer, que con la ayuda de su ex alumno Heinrich Hellbrugge, consiguieron fabricar acero con este procedimiento. Su procedimiento consistía en soplar oxígeno puro sobre la superficie de la fundición líquida. En los procesos anteriores únicamente se usaba el oxígeno del aire y el presente en los óxidos que contienen los minerales de hierro y la chatarra. Este método de inyectar oxígeno puro, ya lo patentó Bessemer en 1856, pero no pudo llevarlo a cabo porque no disponía de los medios suficientes para obtener este elemento, en grandes cantidades (Apraiz, 1984).

Entre 1935 y 1945, varias de las empresas que usaban el método de Thomas probaron a inyectar el aire enriquecido con oxígeno en sus convertidores. Los problemas que se les presentó fueron: Gran desgaste del material refractario de las toberas y un alto coste del procedimiento, ya que en aquella época no se tenía acceso a aquellos elementos fácilmente. Por lo que estas técnicas no llegaron a ser ampliamente utilizadas (Apraiz, 1984).

1.2.7.1 Principales ventajas del nuevo procedimiento.

A continuación, se enumeran algunas de las principales ventajas del convertidor de oxígeno frente a los anteriores métodos (Apraiz, 1984):

- La calidad del acero es mejor que la de Thomas, igual que los de Siemens y casi tan buena como las de los aceros eléctricos.
- Es mucho más barata una acería LD que una Siemens o con hornos eléctricos, debido a que tiene un mecanismo mucho más simple y sus reparaciones son más sencillas y rápidas.
- Es mucho más rápido que los métodos Siemens y de hornos eléctricos, tardando 40 minutos frente a 5 o 6 horas y 2 o 4 horas respectivamente.
- No es necesaria la chatarra, pero además admite cargar entre un 10 y un 35% de chatarra para aprovechar lo defectuoso. La chatarra se puede usar para controlar la temperatura en exceso que se produce en el horno.
- La desoxidación es más sencilla que en los métodos Bessemer, Thomas y Siemens.

1.2.7.2 Descripción de una acería LD

Las instalaciones de una acería con convertidor de oxígeno constan de las siguientes estaciones (Apraiz, 1984):

- Nave de materias auxiliares y refractarias.
- Parque de chatarra.
- Convertidores y mezcladores.
- Naves de coladas, como todas las demás.

La composición de un convertidor LD es la siguiente (Apraiz, 1984):

- El convertidor.
- Apoyos fijos de los cojinetes y convertidor.
- Los cojinetes para producir el giro del convertidor.
- El mecanismo de giro.
- La lanza de soplado, que es un tubo de acero terminado en una boquilla de cobre refrigerada fuertemente con agua. Pasaron de tener un solo orificio de salida, a tener hasta 4 de unos 27mm de diámetro.
- Depósitos de almacenamiento de materiales auxiliares y dispositivos de carga.
- Campana de captación de humos e instalaciones de enfriamiento y depuración.

El convertidor tiene las siguientes partes (Apraiz, 1984):

- Parte superior troncocónica, contiene la boca.
- Zona cilíndrica central.
- Fondo.
- Piquera o agujero de colada.
- Lanza de oxígeno.

La figura 14 representa un convertidor de oxígeno LD. Se puede apreciar en la imagen que es muy similar un convertidor de Bessemer. A mayores tiene la lanza de oxígeno, que es por donde se inyecta el oxígeno a presión sobre el acero a fundir.

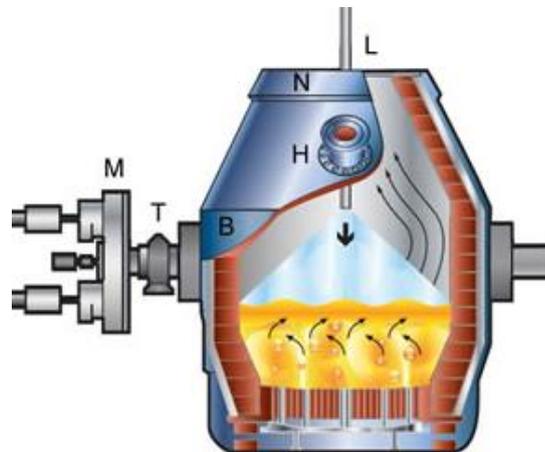


Fig. 14 Convertidor LD

Fuente: (steeluniversity.org)

El recubrimiento interior puede variar entre 250 y 800mm de espesor y es de material refractario básico (Apraiz, 1984).

1.2.7.3 Proceso

El procedimiento básico de un convertidor de oxígeno es muy similar al de un proceso de carga de un convertidor de Bessemer (Apraiz, 1984):

1. Se gira el convertidor para llenarlo de chatarra.
2. Se carga de fundición y se endereza.
3. Una vez vertical se inyecta el oxígeno por la lanza de soplado a unas 10 atmósferas de presión y a unos 2 m de la superficie y se añade la cal para producir las escorias. Este proceso dura unos 20 minutos después de empezar a inyectar el aire.

1.2.8 Comparación de uso de los diferentes tipos de hornos

El uso de unos hornos u otros ha ido variando en función de sus innovaciones técnicas y de la capacidad económica de cada zona, si era un país más desarrollado o menos. Los países más desarrollados han sido los que han tenido la tendencia de fabricar acero con las técnicas más novedosas. En los siguientes gráficos vamos a poder ver con claridad como se van utilizando cada método, y como va variando su uso al ir apareciendo tecnologías más modernas, desde el uso de convertidores Bessemer y Hornos Siemens, hasta la aparición del horno eléctrico y el convertidor con oxígeno.

	PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN DE ACERO MUNDIAL POR PROCESO					TOT. ACERO (MILL. TON)
	SIEMENS	LD	THOMAS	CONV. BESSEMER	H. E	
1880	11,9	0	2,6	83,6	0	4,25
1890	25,6	0	16,5	53,5	0	12,5
1900	41,5	0	18,5	37,5	0	28,1
1910	55,9	0	22,4	20,6	0,2	6
1915	61,4	0	22,3	15,6	0,3	65,5
1929	72,2	0	16,9	9	1,8	120,8
1937	77,3	0	14,6	3,8	4,2	137,8
1950	79	0	10,2	2,9	7,8	189,4
1955	77,5	0,5	11,1	2,1	8,8	269,3
1960	71,8	4,1	11,8	1,3	11	346,6
1961	70,6	5,5	11,2	1,1	11,6	351,2
1962	69,3	7,4	10,5	1	11,7	360,2
1963	67,1	9,9	9,6	1	12,4	386,6
1963	64,3	13,5	8,8	0,9	12,5	437,9
1965	61	17,7	7,8	0,8	12,7	458,9
1966	56,4	23,2	6,7	0,6	13	475,6
1967	52	28,2	6,1	0,5	13,2	493,2
1968	48,4	31,9	5,6	0,5	13,6	528,7
1969	44,1	36,5	5,1	0,4	13,9	572,3
1970	40,2	40,9	4	0,3	14,5	591,7
1971	34,9	45,8	3,7	0,2	15,4	582

Tabla 2. Producción mundial de acero bruto por procedimientos

Fuente: (Aguilar, 1974)

En la anterior tabla (Tabla. 2) podemos ver los porcentajes de producción con cada método de producción. Hasta el año 1880 la mayoría de la producción de acero se obtenía por medio del convertido de Bessemer, ya que fue el primero y, por tanto, el que más se extendió. Este método fue perdiendo protagonismo al irse extendiendo el horno Siemens y las mejoras del método de Thomas, hasta que cayera en desuso en torno a los años 1950, donde el horno Siemens acaparaba prácticamente todo el tonelaje de acero de la época. A partir de 1950, con la aparición del sistema de conversión por oxígeno, el horno de Siemens fue perdiendo protagonismo, gracias a la aparición del sistema de conversión con oxígeno y al uso del horno de arco eléctrico.

En la siguiente tabla (Tabla. 3) podemos ver cómo ha evolucionado en diferentes países los diferentes métodos de fabricación de acero en la producción mundial, entre los años 1980 y 1992. Los datos están dados en porcentaje de la producción por países.

En esta tabla 3, podemos ver como se apuesta por las tecnologías más modernas en las que destacan la producción por convertidor de oxígeno y el horno eléctrico, donde se ve claramente como acaban con el horno Martin Siemens, que había sido el principal método de fabricación de acero, años antes de la aparición del método de convertidor de oxígeno. En la tabla podemos apreciar que en 1992 el método Martin Siemens queda obsoleto por completo y se divide la producción entre el convertidor de oxígeno y el horno eléctrico.

	LD		H.E		SIEMENS		COLADA CONTINUA	
	1980	1992	1980	1992	1980	1992	1980	1992
U. E	72,7	68,4	23,8	31,6	3,5	0	39,9	91,8
E. U	61	60	27	38,4	12	1,6	20,3	78,9
JAPÓN	76	68,6	24	31,4	0	0	59,5	95,4
BRASIL	68,8	61	27	19,3	12,2	0	36,4	57,9
COREA	67	70,9	31,5	29,1	1,5	0	44,3	96,8
MEXICO	37,6	44,3	43,6	55,7	18,9	0	31,9	64
VENEZUELA	0	0	63	100	37	0	32,2	92
TAIWAN	49	53,1	51	45	0	0	58,5	94,9
LD - Convert. Oxigeno								
HE - Horno eléctrico								

Tabla 3. Porcentaje de uso de método de fabricación entre 1980 y 1992 en cada país

Fuente: (Brown y Guzmán, 1998)

En el caso del horno eléctrico, en 1992, sufre un aumento del porcentaje de utilización importante en casi todos los países. Otro dato importante que se obtiene de esta tabla es el aumento abismal de la producción de acero por el método de colada continua. En tan solo 12 años pasa a ocupar prácticamente el 90% de la producción en todos los países, de ahí que fuera uno de los métodos principales como salida a una crisis mundial permitiendo tener una mayor producción en menor tiempo y a un menor coste. Como más adelante se citará, Estados Unidos después de la crisis petrolífera de 1973, entró en una gran recesión que impidió que se modernizara tecnológicamente, y se quedara atrasado en la industria siderúrgica. Esto fue debido a la escasez de fondos destinados a las sucesivas guerras y la inflación del precio del petróleo. En la gráfica vemos que Estados Unidos, uno de los principales productores mundiales de acero sólo fabricaba un 20.3% del acero por el método de colada continua, esto es un claro ejemplo del atraso tecnológico en el sector siderúrgico, de ahí que Japón le arrebatara el puesto y se pusiera por encima de él en cuanto a productor de acero mundial. Japón sí que había invertido anteriormente en la tecnología, por ello llegaron a tener en 1980 un 59.5% de la producción por colada continua y en 1992 un 95.4%.

	Porcentaje de producción de acero									
	2007		2009		2011		2013		2014	
	LD	HE	LD	HE	LD	HE	LD	HE	LD	HE
BRASIL	74	24	74	24	75	23	73	25	75	23
CHINA	88	12	90	10	90	10	91	9	94	6
REPUBLICA CHECA	91	9	93	7	92	8	93	7	93	7
FRANCIA	61	39	60	40	61	39	65	35	66	34
ALEMANIA	69	31	65	35	68	32	68	32	70	30
INDIA	41	58	36	63	32	67	31	68	42	58
ITALIA	37	63	29	71	34	66	28	72	28	72
ESPAÑA	22	78	22	78	25	75	30	70	29	71
REINO UNIDO	79	21	79	21	73	27	84	16	84	16
ESTADOS UNIDOS	42	58	37	61	40	60	39	61	37	63
LD - Convert. Oxígeno										
HE - Horno eléctrico										

Tabla 4. Evolución de los procesos de fabricación en el mundo del 2007 al 2014

Fuente: (Larrea y García, 2015)

En esta tabla (Tabla. 4), podemos ver los dos métodos usados mundialmente en la producción de acero que son el horno eléctrico y a través de alto horno. Que se hable de producción de acero en alto horno, es que finalmente se fabrica por convertidor de oxígeno, ya que en el alto horno sólo se fabrica la fundición. Como se puede observar en el gráfico de la derecha, la producción de acero mundial por alto horno es mayor que por arco eléctrico en la mayoría de países. Esto se debe a que la producción por horno de arco eléctrico está destinada a aceros de más alta calidad. De ahí que los productores más pequeños o menos potentes se haya dedicado a producir aceros más específicos y de diferentes calidades. Los mayores productores mundiales como son China, Brasil y Estados Unidos tienen una mayor producción de acero por alto horno. Este acero es de menor calidad, pero es demandado en grandes cantidades por tener un menor precio y, por tanto, les conviene sacar la producción lo más rápido posible. Los países con menor producción se basan en tener miniaceras que realizan un acero de mayor calidad para poder dar un valor añadido al producto, ya que, no podrían competir con los precios de las grandes empresas. Estas grandes empresas normalmente trasladan sus industrias a países menos desarrollados con un coste de mano de obra menor, y generan productos que no necesiten ni altas tecnologías ni mano de obra tan cualificada. De esta forma consiguen reducir sus costes y vender su producto a un menor precio.

2 CONTEXTO HISTÓRICO ECONÓMICO DESDE LA APARICIÓN DE LA COLADA CONTINUA.

2.1 Introducción

El crecimiento de la colada continua viene determinado por un tiempo de crisis en el sector siderúrgico, que vino derivado de diversos factores. El desarrollo de este proceso de fabricación fue fomentado por la necesidad de las empresas del sector siderúrgico de conseguir fabricar una mayor producción en menos tiempo y con menor coste, para poder ser más competitivos frente a la aparición de nuevos materiales y al problema económico ocasionado por las crisis económicas mundiales. Los problemas que dieron lugar a esas necesidades se basan en las diversas crisis económicas del petróleo, principalmente.

El petróleo es una de las principales fuentes de energía, de ahí que la economía mundial gire en torno a este. Todas las grandes industrias, maquinaria, transporte, usan derivados del petróleo para su funcionamiento. Entre las grandes industrias cabe destacar la industria siderúrgica, la industria de los plásticos y la industria automovilística, como principales consumidores de petróleo y derivados (Torres, 2015).

Un ejemplo sencillo en el que se refleja la importancia del petróleo en la economía, son las diversas crisis del petróleo que han existido. En ellas se representa claramente como han afectado mundialmente ocasionando una excesiva inflación de los precios en la mayoría de los países y no pudiendo recuperar su estabilidad hasta varios años más tarde (Torres, 2015).

Las crisis del petróleo tuvieron diversas repercusiones a nivel mundial, ya que es un recurso utilizado por todo el mundo. No a todos los países les afectó por igual y la intervención de los distintos países en estas crisis petrolíferas son muy importantes (Torres, 2015).

Para hablar de las crisis, primero tenemos que hablar de otros hechos que son muy importantes para describirlas, para ello se hablará de la guerra de los Seis Días y de la guerra de Yom Kippur, ya que estas dos guerras preceden a las posteriores crisis y son un factor determinante. También se citará la OPEP ya que es un factor clave en todas las crisis del petróleo que han existido y también en la economía mundial.

2.2 La OPEP

La OPEP es la Organización de Países Exportadores de Petróleo y se fundó en Bagdad el 14 de septiembre de 1960 mediante unos acuerdos previos establecidos en el I Congreso Petrolero Árabe realizado en El Cairo a finales de enero de 1960. Se fundó por iniciativa del Gobierno de Venezuela presidido por Rómulo Betancourt. Los países fundadores de la OPEP son: Arabia Saudí, Irak, Irán, Kuwait y Venezuela. Más tarde, se unieron otros: Argelia (1969), Angola (2007), Ecuador (1973 -1993), Nigeria (1971), Emiratos Árabes Unidos (1967) Libia (1962) y Qatar (1961) (Torres, 2015), Indonesia (1962) y Gabón (1975 – 1994).

El de aquel entonces ministro de minas e hidrocarburos, Juan Pablo Pérez Alfonzo tuvo la idea de que sería necesario crear un “instrumento de defensa de los precios para

evitar el despilfarro económico del petróleo que se agota sin posibilidad de renovarse” (Torres, 2015).

La OPEP regula el nivel de producción de petróleo ya que controla el 43% de su producción mundial y tiene el 81% de las reservas de petróleo en su poder, siendo el banco central del mercado petrolero. De ahí que la OPEP finalmente tenga la mayor influencia en el mercado del petróleo (Torres, 2015).

2.3 Guerra de los seis días

En 1948, se produce la primera guerra entre los árabes y el estado de Israel, consiguiendo una inestable situación entre Israel, Jordania, Egipto, Líbano y Siria, generando unas indefinidas fronteras entre ellos (Lacovsky, 2008).

En 1956 ocurrió otro conflicto entre los egipcios en un bando y en el otro, Israel, Francia y Gran Bretaña, este fue llamado la guerra del canal de Suez, y venía derivado de que en 1956 el presidente egipcio Nasser nacionalizó el canal de Suez. Para acabar con esta guerra se llevaron a cabo dos acuerdos: El establecimiento de una fuerza de paz por parte de las naciones unidas, llamada Fuerza de Emergencia de Naciones Unidas, en la frontera egipcio – israelí, estacionada en el territorio egipcio de la Península de Sinaí y el otro fue, la aceptación por parte de Egipto, de la navegación libre de los buques israelíes por el golfo de Aqaba y el Estrecho de Tiran. Este acuerdo se mantuvo inestablemente hasta el año 1967 (Lacovsky, 2008).

Hacia el año 1964 se comenzó a romper el equilibrio al que habían llegado tras la crisis del canal de Suez, por lo que Siria con el apoyo de la Liga árabe, comienzan el proyecto de desviar el río Jordán con el fin de no abastecer de agua dulce a Israel. Entre estos proyectos y el nacimiento en 1964 de la Organización para la liberación de palestina (OLP), se generaron enfrentamientos guerrilleros entre las fronteras de los territorios sirios y jordanos. Según avanza la situación, el ambiente se tensa aún más en 1966 multiplicándose los incidentes fronterizos a través de minas, disparos y sabotajes. También durante esta época surgen diversos cambios políticos que hace que se acentúen más las discrepancias entre ellos (Lacovsky, 2008).

En abril de 1967 hubo enfrentamientos aéreos entre Siria e Israel, con lo que la crisis entre los de medio oriente se acentuó. Tras estos enfrentamientos, los israelíes preparaban una movilización militar para atacar Siria. Al enterarse de esto el presidente egipcio Nasser, en apoyo a Siria, comenzó una movilización de tropas egipcias en el Sinaí el 14 de mayo y cerró el estrecho de Tiran a la navegación israelí el 22 de mayo. La respuesta israelí a los egipcios ocasionó una guerra en medio oriente incluyendo a Jordania y Siria (Lacovsky, 2008).

Entre el 5 y 10 de junio de 1967, después de que Egipto, Jordania y Siria realizaran una salida marítima hacia el Mar Rojo y se realizara el bloqueo de Aqaba, el estado de Israel emprendería acciones militares contra estos estados. Los israelíes destruyeron parte de sus fuerzas armadas y ocuparon territorios como los altos de Golán que aún están en su poder (Mijares, 2003).

El 5 de junio de 1967, Israel, sospechando del pacto entre Egipto, Siria, Jordania e Irak, tomó la iniciativa y lanzó un ataque contra ellos. Este ataque fue tan fuerte por parte de los israelíes que, aunque la alianza árabe estaba en alerta ante el posible ataque, no pudieron con él (Rengel, 2017).

La guerra se dio por finalizada el 10 de julio de 1967, con la ocupación por parte de Israel de importantes territorios como fueron: el Sinaí egipcio, la franja de Gaza, los altos de Golán Sirios y Cisjordania y Jerusalén oriental pertenecientes a Jordania (Rengel, 2017).

Esta guerra, llamada la guerra de los seis días, sobrepasó a las antiguas disputas religiosas entre árabes y judíos, ya que Israel pasó a ser una autentica amenaza al verse apoyado por el interés de Estados Unidos y el Reino Unido. Estos últimos se movían entre otros motivos por el deseo de garantizar una extracción libre de petróleo (Mijares, 2003).

2.4 Guerra de Yom Kippur

En 1973, se llevó a cabo la guerra de Yom Kippur entre dos grupos de aliados. Una parte estaba formada por Egipto, Siria y sus aliados árabes, Jordania, Kuwait y Pakistán. El otro bando lo constituía Israel y sus aliados occidentales Estados Unidos, Francia y el Reino Unido. Esta guerra se ocasionó por el incumplimiento de la Resolución 242 del Consejo de Seguridad de la Organización de las Naciones Unidas, en el que Israel debía entregar los territorios ocupados en el Golán y el Sinaí. Esta resolución consistía en que Israel retornara a sus fronteras y que comenzaran una negociación encaminada a conseguir una paz duradera y justa en el Oriente Medio (Núñez, 2017).

Esta guerra se dio después de otras tres guerras entre árabes e israelíes, la de 1948, 1956 y 1967. Esta guerra se considera una de las más sangrientas dentro de los conflictos de Medio Oriente. Los árabes querían recobrar las tierras de los Altos de Golán y Sinaí que los israelíes les habían tomado en la guerra de los seis días en el año 1967 (Núñez, 2017).

Se podría considerar que esta guerra fuera una revancha de Egipto y Siria con el fin de recuperar sus territorios ocupados por el estado de Israel en los altos de Golán y la península del Sinaí (Mijares, 2003).

Para combatir la decisión de los israelíes, los egipcios y los sirios entraron en los territorios ocupados por Israel, el 6 de octubre de 1973, durante la fiesta religiosa del Ramadán para los musulmanes y la de Yom Kippur para los judíos. Los egipcios y los sirios atacaron los montes de Golán y en el Sinaí ocasionando 2656 muertes (Núñez, 2017).

El ataque árabe fue fulgurante, sin embargo, los israelíes emprendieron el contrataque el 10 de octubre de 1973 reconquistando los altos de Golán y la península del Sinaí. Ambos bandos fueron apoyados externamente, Rusia apoyo al ejército árabe y Estados Unidos al israelí (Ocaña, 2003).

Esta guerra fue llamada también “La Guerra de los Tanques” debido a las características de los vehículos blindados, ya que había una gran diferencia entre las capacidades bélicas de un ejército y otro. El ejército israelí tenía mejor armento y podían alcanzar una mayor distancia con sus tanques. El ejército árabe para combatir su alta capacidad armamentística, realizó un ataque por sorpresa destruyendo gran parte de la armada israelí con sus tanques. Los árabes contaban con una mayor cantidad de tanques,

aunque no tan evolucionados tecnológicamente. Tras este ataque, que se mantuvo durante tres días, los israelíes, gracias a su inteligencia militar y con la orientación de las estrategias militares de Estados Unidos, realizaron el contraataque que duró hasta el 11 de octubre de 1973, finalizando a los 16 días de continuos enfrentamientos (Núñez, 2017).

Ante las dificultades egipcias Rusia anunció la posibilidad de enviar tropas de apoyo. Ante esto Henri Kissinger, secretario del estado norteamericano fue a Moscú a realizar una negociación. Finalmente, las partes enfrentadas siguieron una resolución de la ONU en la que se pedía el alto el fuego finalizando la guerra el 25 de octubre de 1973 (Ocaña, 2003).

La firma de paz entre Egipto e Israel, provocó que estos países limitaran su exportación de petróleo. El embargo y la guerra entre los árabes e Israel, provocó en 1973 una fuerte conmoción en el mercado del petróleo internacional provocando una escasez de hidrocarburos y una elevación del precio de estos, lo que generó una gran crisis mundial (Mijares, 2003).

Desde la historia antigua, la lucha por el poder sobre las tierras donde se ubicaban los árabes y los judíos siempre fue el motivo de las diferentes disputas entre los pueblos, originando la diáspora, que es la persecución y el éxodo de los grupos étnicos o religiosos por todo el mundo (Núñez, 2017).

En el caso de las guerras citadas tuvieron el origen por la posición estratégica para el comercio y la economía de la ribera occidental del río Jordán, Sinaí y la franja de Gaza, que son zonas estratégicas actualmente. Estas guerras están fomentadas por acuerdos que favorecen a las grandes potencias y los temas religiosos (Núñez, 2017).

Los intereses de esta guerra se basan en aspectos económicos y políticos. En el aspecto económico está el petróleo, ya que el control de esos territorios es muy importante para la distribución del petróleo (Núñez, 2017).

Las empresas norteamericanas obtienen grandes ganancias a través del negocio del crudo, por lo que el interés en hacer negocios con el Medio Oriente es elevado. Por otra parte, a Estados Unidos le interesa dominar en la región de Oriente Medio para acaparar el crudo ante la escasez de este en un futuro, ya que las empresas de los países europeos, Japón y China, ante el desarrollo de sus industrias, podrían sobrepasar a la industria estadounidense. Por estos motivos, Estados Unidos no se independiza energéticamente y por ello ejerce presión sobre los estados árabes. Este apoyo se basa en el interés sobre la riqueza petrolífera de la región, de ahí que la intervención de estados unidos fuera básicamente por el poder económico y energético. La Unión Soviética también participó en esta guerra aprovisionando a Egipto para el conflicto, de esta forma si los árabes ganaban la guerra se posicionaban por delante de Estados Unidos en el negocio del crudo (Núñez, 2017).

2.5 Crisis del petróleo de 1973

Entre finales de mayo de 1973 y el 24 de marzo de 1976, se enmarca la denominada “crisis del petróleo”, que afectó al conjunto de la economía mundial dando lugar a una recesión en los países centrales (Barrera y Vitto. 2009).

Esta crisis tuvo lugar como consecuencia de la decisión, tomada por la OPEP, de elevar considerablemente el precio del crudo. Este aumento en el crudo consolidó un aumento de los precios de muchas materias primas esenciales, lo que provocó una profunda recesión en los países centrales, provocando una crisis mundial que duraría décadas (Barrera y Vitto. 2009).

El aumento del precio del crudo viene dado porque la OPEP decidió no exportar petróleo a los países que apoyaron a Israel durante la guerra de Yom Kippur. Esta decisión fue tomada por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (formada por los países árabes que están dentro de la OPEP, y Egipto, Siria y Túnez) y los miembros del golfo pérsico de la OPEP. Por lo que esta medida afectaba a Estados Unidos y a sus aliados de Europa Occidental (Torres, 2015).

El 16 de octubre de 1973, la OPEP detuvo la producción de crudo y estableció un embargo para los envíos petrolíferos hacia Occidente, especialmente hacia Estados Unidos y los Países Bajos. El embargo consistía en no exportar más petróleo a los países que habían apoyado a Israel durante la guerra de Yom Kippur. También se acordó un boicot a Israel, consistía en subir los precios de forma muy drástica y de esa forma conseguirían una gran reducción de la demanda, estableciendo así un nuevo consumo impuesto por la oferta. Esto fue una estrategia después de la guerra, ya que la demanda del petróleo no tiene apenas fluctuaciones. Cuando sube el precio del petróleo solamente es porque se ha comprado un poco menos (Torres, 2015).

El control sobre la oferta de petróleo y el estancamiento energético enemigo, lo consiguieron gracias al embargo que impusieron a ciertos países. Esto hizo que el gobierno norteamericano, intentara mantener el precio en unos niveles aceptables, y de esta forma impedir que se generara un gran impacto económico ocasionado por el recorte de los suministros. Por todo ello entraron en una recesión prolongada que llevo a un incremento notable de los precios. Esta recesión duró hasta principio de los años 80 (Torres, 2015).

Antes del embargo Estados Unidos disponía de abundante petróleo y a un bajo precio. Esto sumado a la distribución de sus núcleos urbanos e industriales, fomentaba el uso de combustible de forma masiva, llegando a consumir un 33% de la energía mundial, con tan solo un 6% de la población mundial. Esto se debía también a que acaparaban el 25% de la producción industrial mundial (Torres, 2015).

Esta crisis tiene varios puntos de vista, siendo uno de ellos que, la subida de los precios fue una represalia de los países árabes ocasionada por el apoyo militar de EE. UU a Israel en la guerra de Yom Kippur, en el intento de recuperar los territorios ocupados por Israel en la Guerra de los Seis Días en 1967. De ahí que los estados árabes que integraban la OPEP quisieran boicotear el mercado, hasta que Israel no cediera sus territorios ocupados a Egipto y Siria (Barrera y Vitto. 2009).

El gran crecimiento industrial de Occidente dependía directamente del petróleo, esto fue lo que concedió un gran poder a la OPEP en el desarrollo industrial de los países. El

problema de esto es que se alzó el precio internacional del petróleo que produjo una inflación del precio a la vez que la economía mundial se estancaba, estancando incluso a Estados Unidos. El aumento del precio del petróleo y la inflación de los precios repercutió en el desempleo (Barrera y Vitto. 2009).

Lo que viene a decir esta perspectiva de la crisis del petróleo, es que, los precios del crudo fue el producto de una disputa de poder entre los Estados Árabes y Estados Unidos, quedando como principales beneficiados los países exportadores de petróleo, en primer lugar, Arabia Saudí (Barrera y Vitto. 2009).

Otra perspectiva que se tiene de los motivos de esta crisis del petróleo, es que Estados Unidos quería reposicionarse en la esfera económica internacional, para conservar su hegemonía frente a los países Occidentales que podían cuestionársela, como Japón, Alemania Occidental y Francia. Estados Unidos era menos dependiente de las importaciones de petróleo para poder sostener su crecimiento económico que Japón y los países de Europa occidental, por lo que la inflación del precio del crudo no les afectaría tanto como a estos otros y tendrían la hegemonía internacional (Barrera y Vitto. 2009).

Entre 1973 y 1974, el aumento del precio del barril de petróleo fue el mayor de la historia, aumentado el precio Brent en un 252% su valor, de U\$S 3.29 a U\$S 11.58. Estas medidas generaron fuertes restricciones en Europa occidental y en Japón, ya que las exportaciones de petróleo eran menores y además el coste del barril era mucho más elevado. En la figura 15 podemos ver reflejado la evolución de los precios del barril de petróleo de 1960 a 1985 (Barrera y Vitto. 2009).

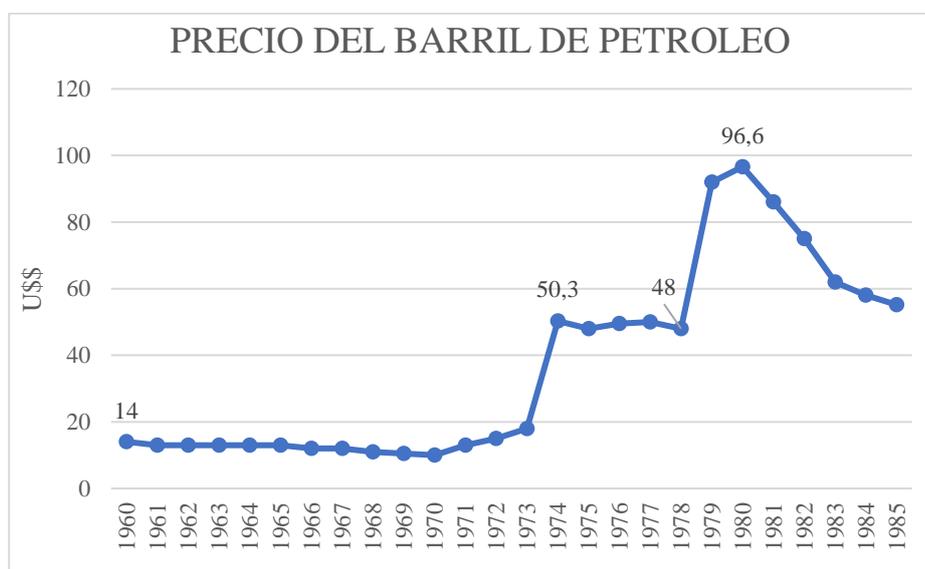


Fig. 15. Evolución de los precios Brent, 1960-1985 (en U\$S corrientes)

Fuente: (Barrera y Vitto. 2009).:

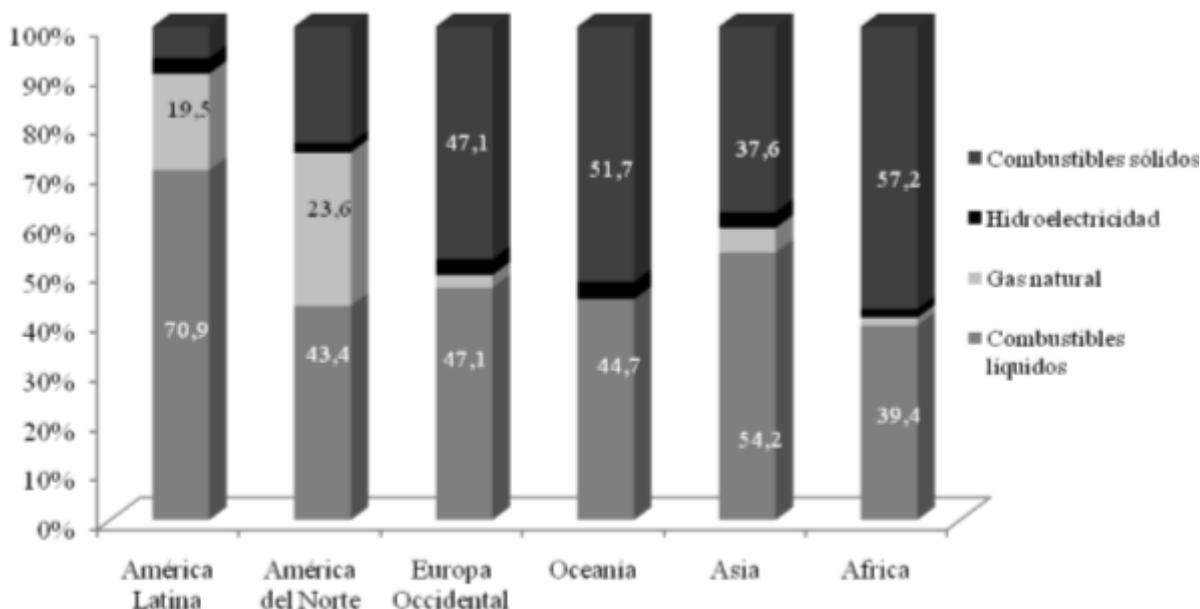


Tabla 5. Distribución porcentual del consumo de energía por región, 1965 (en %).

Fuente: (Barrera y Vitto. 2009).

En la tabla 5, podemos ver que los más afectados por la inflación del petróleo son América Latina, Asia y América del norte, ya que estos son los que tienen un mayor porcentaje de consumo de petróleo entre sus combustibles. El más afectado sin duda alguna es América Latina con un consumo de petróleo del 70.9% (Barrera y Vitto. 2009).

Las zonas más afectadas por la inflación del precio del petróleo, se vieron obligadas a buscar recursos alternativos a estos combustibles, ya que estos combustibles no son renovables y además son escasos. Para esto se propuso una modificación de la oferta energética fomentando la participación de la hidroelectricidad, energía nuclear, el carbón y en menor medida los derivados del petróleo. No obstante, la producción petrolera no disminuiría su intensidad, sino que tendría un menor porcentaje de consumo en comparación a las demás fuentes de energía (Barrera y Vitto. 2009).

El uso del carbón como combustible también era muy importante tanto para las centrales termoeléctricas como para los procesos de coquificación en la industria siderúrgica. Este mineral podría tener un papel importante, en cuanto a cubrir la demanda de combustibles (Barrera y Vitto. 2009).

Entre los años 1973 y 1975 se registró la menor cantidad de extracción de petróleo, debido a que se fueron agotando pozos de explotación y los nuevos que habían encontrado no habían tenido el tiempo suficiente para incorporarles a la producción. No obstante, en 1973, se llegó a tener el máximo número de reservas de petróleo del decenio, por lo que se podría decir que la disminución en la extracción del crudo se debió a presiones sobre el gobierno por parte de las empresas privadas que actuaban en el mercado, para conseguir que no se elimine la dependencia de la energía de hidrocarburos (Barrera y Vitto. 2009).

2.5.1 *Consecuencia de la crisis petrolífera.*

Las consecuencias que llegaron con el embargo de la OPEP, fue una gran inflación del precio del petróleo, llegando a tener un precio cuatro veces mayor desde 1974. De esta forma estos países de Oriente Medio, que estaban dominados por las potencias industriales, pasaron a tomar el control de un producto básico para estas grandes potencias, con el consiguiente enriquecimiento de estos países controladores del petróleo (Torres, 2015).

Los países controladores del petróleo nacionalizaron sus empresas petrolíferas, consiguiendo así aumentar aún más sus beneficios. Gran parte de esta riqueza acumulada fue gastada en compras masivas de armas, lo que hacía que se acentuaran aún más las tensiones políticas (Torres, 2015).

El aumento de riqueza de los países de Oriente, llevo consigo que los países occidentales entraran en un gran caos ocasionado por una crisis provocada por el encarecimiento del crudo. En mayo de 1973 un galón de gasolina tenía un precio de venta al público de 38.5 centavos en Estados Unidos y tan solo al mes siguiente, en junio, tenía un valor de 55.1 centavos, haciendo perder a la Bolsa de Nueva York 97000 millones de dólares de su valor (Torres, 2015).

El embargo ocasionó una importante disminución de las importaciones petrolíferas de Estados Unidos, pasando de 1.2 millones barriles, hasta unos 19000 barriles diarios, y con ello disminuyó su consumo un 7% en el verano de 1974. Este verano de 1974 fue el primer periodo de escasez de petróleo desde la Segunda Guerra Mundial (Torres, 2015).

Una de las consecuencias sociales que produjo esta crisis en los países industrializados, fue las condiciones adversas para desempleados, grupos sociales marginados y trabajadores jóvenes. Las fábricas tuvieron que reducir la producción y despedir a trabajadores, incluso las oficinas y las escuelas, tuvieron que cerrar en alguna ocasión para ahorrar combustible. Se probaron medidas como que los conductores que tenían matrícula impar, solo pudieran comprar combustible solo los días impares y lo mismo con los de matrículas pares (Torres, 2015).

Esta crisis hizo frenar drásticamente el crecimiento económico que tenía Francia, un periodo conocido como “Trente Glorieuses”, que fueron 30 años de crecimiento económico (Torres, 2015).

En Japón la economía se llegó a colapsar llegando a tener una tasa de crecimiento igual a cero debido a esta crisis del petróleo (Ohno, 1991).

En Europa el embargo no fue el mismo para todos los países, Holanda fue embargado totalmente por apoyar a Israel en la guerra, Francia y el Reino unido mantuvieron el mismo abastecimiento, ya que negó a Estados Unidos utilizar sus aeródromos) los otros seis países tuvieron recortes parciales. El Reino unido, aunque apoyo a los israelíes en la guerra de los seis días, durante el gobierno de Harold Wilson, pidió a Israel volver a sus fronteras de 1967, en 1970 con el cambio de política de Edward Heath de esta forma consiguieron estar en paz con los países controladores del petróleo y mantenerles el abastecimiento de petróleo. La Comunidad Económica Europea nunca se habían posicionado a favor de ninguna de las dos partes en la guerra de Yom Kippur en concreto, por lo que tuvieron que intervenir una vez iniciado el embargo y el aumento del precio del petróleo e iniciar un

posicionamiento a favor de los árabes, consiguiendo que la OPEP levantara el embargo a todos los países de la CEE (Torres, 2015).

Aunque los árabes quitaran el embargo a Europa, el aumento de los precios, les afectaría aún más que el embargo, sobre todo en el Reino Unido que coincidió con la huelga de mineros del carbón en 1973-74 derivado de una crisis energética (Torres, 2015).

Finalmente, el 18 de enero de 1974 se firmó el acuerdo por parte de Israel de retirarse del canal de Suez, ocupada durante la Guerra de los Seis días, y completaron su retirada en marzo. Este acuerdo se firmó en la Cumbre Petrolífera de Washington y con él se consiguió que los países árabes, excepto Libia, retiraran el embargo y aumentaran su producción y las exportaciones de crudo (Torres, 2015).

2.6 Crisis petrolífera de 1979 – 1980.

La llamada segunda crisis del petróleo llegó con la revolución iraní y la guerra entre Irak e Irán (Torres, 2015).

El régimen de Irán era una dictadura en la que primaba la corrupción, lo que hizo perder gran parte de las enormes cantidades de divisas recibidas en Irán durante los años setenta. Otra gran parte de estas divisas se gastaron en modernizar el país, pero de forma ineficaz. Se produjo una gran inflación de los precios, debido a los problemas agrarios y de la industrialización, siendo más barato importar alimentos que producirlos. Esto hizo que la población iraní, emigraran a otras ciudades (Torres, 2015).

A partir de 1978, la situación en Irán se degradó aún más y las revueltas se fueron extendiendo, haciendo abandonar el país a su gobernador el Shah el 16 de enero de 1979. Con la llegada de Jomeini, doctor en la ley islámica y miembro del alto clero, volvió a Teheran, anteriormente había estado en el exilio, y proclamó la República Islámica, y en noviembre de ese mismo año se secuestró la embajada de Estados Unidos durante quince meses (Torres, 2015).

El 22 de septiembre de 1980 Irak atacó a Irán, aprovechando sus momentos de debilidad con la intención de controlar Chatt-Al-Arab, el canal resultante de la confluencia entre el río Tigris y el Éufrates, que es por donde se exportaba todo el petróleo iraquí y parte del iraní (Torres, 2015).

Esta crisis hizo que el mundo desarrollado entrara en una pequeña recesión, aunque los mayormente afectados realmente fueron los países del tercer mundo. Las exportaciones de los países en vías de desarrollo cayeron en picado a la vez que el mundo desarrollado entraba en recesión. Ya no solo las exportaciones, sino que los países productores habían prestado dinero a sus bancos, y esta crisis hizo que aumentaran los intereses de estos préstamos, lo que conllevó al aumento de los pagos que debían a estos países productores (Torres, 2015).

La principal preocupación de la OPEP a partir de los años 80 se ha basado en decidir si bajar el precio para mantener la cuota o reducir la producción para mantener el precio (Torres, 2015).

2.7 Crisis del petróleo de 1986.

La OPEP en 1986, frente a la pérdida continua de cuota de mercado, lanza una estrategia para recuperar el mercado provocando la tercera crisis del petróleo. Los precios caen en 1986 a 10 dólares por barril. De esta forma se provocó un exceso de oferta, ya que los bajos precios ocasionaron un fuerte aumento del consumo. De esta forma la industria americana se desplomó, ya que su coste de producción de crudo era más elevado. De esta forma en Estados Unidos la industria se desplomó y se tuvieron unos 25 años de reducción de producción, recuperando así los árabes el papel protagonista en el mercado del petróleo (Torres, 2015).

2.8 Crisis del petróleo de 1990.

Las consecuencias de la guerra entre Irak e Irán, fue una gran deuda en Irak, consiguiendo una deuda de unos 80000 millones de dólares. Esto hizo que Irak quisiera subir el precio del petróleo de 18 a 25 dólares por barril, por lo que fue claramente perjudicado por las decisiones tomadas anteriormente por Bagdad y Kuwait de bajar el precio a 14 dólares. Esto ocasionó un acentuamiento de las diferencias entre ellos. Entre esto y que Irak volvió a reivindicar la soberanía sobre las islas del golfo pérsico frente a la costa de Kuwait, que eran aptas para instalar puertos (Torres, 2015).

La noche entre el 1 y el 2 de agosto el ejército de Irak invadió el emirato. Esto hizo que se doblara el precio del barril de petróleo y que incluso en Estados Unidos, se aumentara el precio del combustible. Más tarde, en 1991, el precio del barril volvió a bajar cuando Estados Unidos hizo un despliegue militar, quedando el precio del barril en 20 dólares. Mientras estaban en guerra, Arabia Saudí y la OPEP producían petróleo para solventar la demanda (Torres, 2015).

A esta guerra se la conoce como La Guerra del Golfo.

3 CONTEXTO HISTÓRICO EN EL SECTOR SIDERÚRGICO DURANTE LA APARICIÓN DE LA COLADA CONTINUA.

La incorporación en la industria siderúrgica de la colada continua, vino propiciada por la finalización de la segunda guerra mundial y se extendió considerablemente en una época de crisis mundial que sufrió la industria siderúrgica alrededor del año 1970, causada principalmente por la crisis del petróleo. Una de las soluciones a la crisis, a parte de las ayudas económicas de los países a las grandes empresas del sector, fue introducir mejoras para poder conseguir un producto de calidad al menor coste posible, con el objetivo de alcanzar la mayor rentabilidad del producto. De ahí, que se necesitaran nuevos métodos de producción y se propiciara la incorporación de la colada continua en la industria siderúrgica.

La colada continua generó una revolución en el proceso productivo del acero en el mundo. Este proceso que permitía pasar del acero líquido a producto semiterminado, obteniendo como resultado una disminución del consumo de energía, menores desperdicios de metal y menos tiempos muertos, lo que otorgó a la industria una mayor eficiencia. Este método contribuyó de manera importante al aumento de la productividad y disminución de

los costes, justo lo que necesitaba la industria siderúrgica en el momento de su aparición, debido a la gran crisis mundial (Brown y Guzmán. 1998).

A parte de la mejora en el proceso productivo consiguiendo una mayor rentabilidad, también se consiguió una mejor calidad del producto final, eliminando defectos que se tenía con el anterior método utilizado. Esto hizo que los nuevos materiales que fueron apareciendo, no les comieran tanto el terreno y estos siguieran siendo demandados (Brown y Guzmán. 1998).

3.1 Crisis mundial de la siderurgia

En la industria siderúrgica a partir de la segunda mitad del siglo XX comienzan a originarse problemas derivados de las crisis petroleras principalmente y también, por una época de escasez de coque y chatarra.

Las necesidades en la vida de la primera mitad del siglo XX exigieron una mayor producción de acero llegando incluso a triplicar la producción mundial en los primeros cuarenta años del siglo. Para solventar esto buscaron la forma de aumentar y mejorar la producción por todos los medios, principalmente la producción de los altos hornos y las instalaciones de producción de coque (Fernández, 1950).

El continuo aumento de la capacidad total de producción de arrabio en los altos hornos es acompañado de la producción de coque. Aunque los nuevos métodos permiten obtener el arrabio con una menor cantidad de coque, bajando de 1000kg a 750kg de 1950 a 1975, el consumo de coque ha aumentado de 150 millones de toneladas a 275 millones, ya que la demanda de acero también ha aumentado en ese periodo (Apraiz, 1984).

Uno de los problemas es la escasez de hullas que son buenos carbones para fabricar coque, esto generó un aumento del precio del coque (Apraiz, 1984).

Otra de las dificultades que han afrontado en esa época es la escasez de la chatarra y la fluctuación de sus precios, ya que son muy oscilantes. A parte de esto el suministro de chatarra no estaba asegurado (Apraiz, 1984).

Estos problemas afectaron sobre todo a las empresas siderúrgicas más pequeñas ya que las grandes tenían asegurado el suministro de arrabio o fundición para poder fabricar el acero (Apraiz, 1984).

En el año 1970, la industria siderúrgica alcanzaría su máximo desarrollo consiguiendo evitar la rigidez en los procesos de producción que tenían hasta el momento, lograron reducir el tamaño de las empresas, se cerraron empresas que eran demasiado costosas, y se realizaron nuevas estrategias con las que conseguir hacer frente a la competencia (Corrales, 2007).

La industria siderúrgica comenzó a llevar a cabo estrategias económicas y cambios en la cadena productiva para continuar operando con éxito y evitar la quiebra, para ello han tenido que hacer alianzas estratégicas, conversiones y adquisiciones. De esta forma consiguieron evitar los problemas globales debidos a las crisis económicas, sobre todo la del petróleo de 1973 (Corrales, 2007).

La industria siderúrgica tiene un papel básico que representa una gran proporción de la producción industrial, sobre todo está presente en la industria automovilística, en la producción de equipo ferroviario, fabricación de bienes de capital, industria de la construcción y petrolera, de ahí que esta industria represente los avances y retrocesos en la producción industrial. Todo esto conlleva a que la industria siderúrgica sea muy susceptible a las crisis y recesiones económicas, ya que depende de muchos ámbitos industriales (Rueda, 1986).

Como se cita en el anterior párrafo, la industria automovilística es muy importante para la industria siderúrgica, porque influye notablemente en el consumo de acero. En la gráfica que hay a continuación, se representa la producción mundial de automóviles desde 1965 hasta 1996. En ella se puede ver que la producción de automóviles tiene un aumento general de 1965 a 1996, aunque no de forma continuada. Se puede ver claramente un estancamiento en la producción después de la crisis del petróleo de 1973. En el año 1978, se puede ver una disminución de la producción muy pronunciada y que dura cuatro años, en Estados Unidos esta crisis se conoce como la crisis de “bola de óxido” (Tarditi, 2000).

Esta gráfica permite entender como afectaba la crisis petrolera a la industria siderúrgica, tanto por el aumento en los costes de producción de acero, como por la menor demanda en sectores tan importantes para ellos como es la industria automotriz. En los tiempos de crisis el sector automotriz tiene una menor producción lo que se traduce en un menor consumo de acero.

En la figura 16 se puede relacionar la producción de automóviles con las crisis económicas y, deducir de ello, que con cada guerra árabe se ha generado una recesión económica claramente apreciable en el sector automovilístico. En los años de crisis más importantes, se puede ver claramente en el gráfico, un estancamiento en la producción o incluso una disminución de la producción frente a años anteriores.

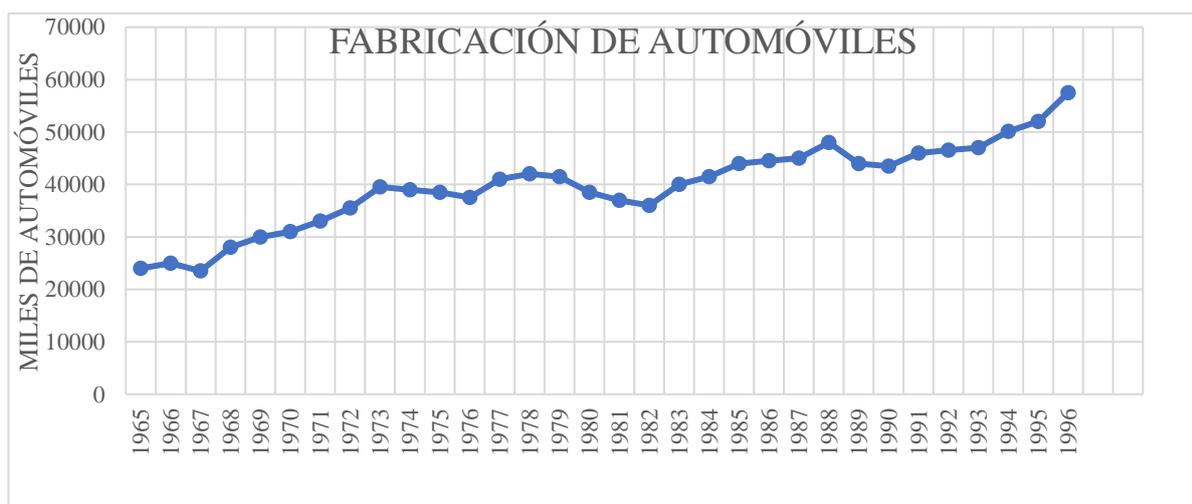


Fig. 16. Producción mundial de automóviles al año.

Fuente: (Tarditi, 2000)

Estados Unidos contaba con siete empresas y Japón con cinco empresas, entre las veinte de mayor producción de la época (González, 2008).

En 1973, el año de la crisis más importante del petróleo de la historia, la producción mundial de acero llegó a los 767,6 millones de toneladas, un récord histórico, pero la subida del precio del petróleo tuvo un impacto generalizado en todas las industrias, por lo que los pedidos de acero bajaron ocasionando, en 1975, la entrada de la industria siderúrgica en una grave crisis, al caer su producción a 712 millones de toneladas de acero crudo (Corrales, 2007).

Entre los años 1965 y 1974 la producción mundial de acero crecía una media de un 5% cada año. De 1974 a 1985, solo creció una media de un 1%. Ya no solo se estancó la producción, sino que, su consumo debido a la subida de los precios en general, también se quedó estancado (Rueda, 1986).

En 1968, Estados Unidos contaba con varias empresas en la cima de la producción de acero. Los norteamericanos contaban con la empresa con mayor producción a nivel mundial, United States Steel, con una producción anual de 29.3 millones de toneladas. También contaba con Bethlehem Steel, que tenía una producción de 18.3 millones de toneladas al año. A estas dos, las seguía la empresa Yawata Iron and Steel, una empresa japonesa con una producción de 12.3 millones de toneladas al año (Mussi, 2017).

Estados Unidos lideró en la producción mundial siderúrgica desde 1890 hasta que, en 1971 la URSS les arrebatara primer puesto (Mussi, 2017). A la URSS no le afectó como a los demás países la decisión tomada por la OPEP de subir los precios, ni el embargo, porque ellos se pusieron de parte de Egipto en la guerra de Yom Kippur.

Sobre el año 1978 se produjo una caída de los precios en los productos siderúrgicos. En 1970, según la evolución del mercado americano, se produce un crecimiento del valor del acero, desde 137 dólares por tonelada hasta los 182 dólares en 1978. A partir de este año el acero sufre una caída del precio del acero quedando en 140 dólares en el año 1990 (Mussi, 2017).

En 1979 Japón desplazó a la URSS del primer puesto en la producción de acero. A partir del liderazgo de las empresas japonesas, las empresas estadounidenses descendieron estrepitosamente su rentabilidad llegando al punto de rozar niveles negativos (Mussi, 2017). Este desplazamiento se debe a que Japón tenía mucha más tecnología entre sus empresas siderúrgicas, siendo mucho más modernas y competitivas en casi la totalidad de sus empresas.

Aunque las empresas japonesas lideraran en aquellos años la producción mundial, también disminuyeron su rentabilidad. La caída de sus ganancias ocasionaron que la producción de acero se estancara en aquellos valores de producción. La muestra de ello es que solo creció un 0.1% la producción siderúrgica mundial entre 1980 y 1985 (Mussi, 2017).

La demanda de acero cayó y, por lo tanto, se tuvo que disminuir la producción de 719 millones de toneladas en 1980 hasta 718.6 millones en 1990. Esta disminución de la producción conllevó al cierre de fábricas y reducciones de miles de empleados (Mussi, 2017).

En el año 1982, la producción mundial de acero tocó fondo con una producción de 645 millones de toneladas (Verdeja, Sancho y Verdeja, 2000).

Pero no sólo la crisis fue el motivo de las pérdidas de empleo, sino que también, las mejoras tecnológicas de las empresas hicieron que el empleo general en la rama siderúrgica disminuyese. Al incorporarse nuevas tecnologías redujeron la mano de obra no cualificada (Mussi, 2017).

En la Comunidad Económica Europea a principios de 1984, habían perdido el empleo 300.000 trabajadores del acero. En Estados Unidos cerraron más de 200 instalaciones siderúrgicas dejando a 150.000 trabajadores sin empleo (Rueda, 1986).

La crisis del petróleo, entre 1970 y 1980, consiguieron que se creara una mayor competencia a nivel mundial entre las empresas siderúrgicas. La demanda de acero por parte de las instalaciones petrolíferas ocasionó que sólo pudieran cubrirla las empresas más competitivas, aquellas que tuvieran una mayor producción lo más rápido y barato posible. Este fue el momento en que los hornos Siemens quedaron obsoletos y se pasaron a usar nuevas tecnologías más efectivas (Mussi, 2017).

Ante la fuerte competencia internacional, las empresas se tienden a fusionar para obtener una mayor capacidad financiera y que esto, les permita afrontar la lucha por la reducción del precio de coste del producto. Para reducir costes e incorporar nuevas tecnologías se deben de modificar estructuralmente las plantas siderúrgicas. Los cambios venían siendo, la utilización de nuevos combustibles, sustitución de los hornos Siemens por convertidores LD, hornos eléctricos, colada continua, mayor capacidad de producción de los hornos y una mayor automatización (Muñoz, 1981).

Esta incorporación tecnológica, fue la que hizo conseguir a Japón y Corea del Sur, liderar la producción mundial siderúrgica, ya que fueron los que más apostaron por la mejora tecnológica. Estos al poder invertir en una tecnología más alta, les permitió aprovechar sus ventajas y ser más competitivos. Los avances en la automatización del proceso, permitieron que no se necesitara tener una mano de obra tan cualificada, la consecución de una mayor, mejor y más rápida producción (Mussi, 2017). Debido a mejoras en el proceso productivo, como fue entre otras la colada continua, se eliminaban tiempos muertos y procesos intermedios, ocasionando un ahorro tanto en horas de trabajo, como en inversiones en aparatos intermedios como pueden ser los hornos de fosa. De esta forma estos países podían satisfacer la demanda de acero del momento, más rápido y más barato que cualquier otro.

Un claro ejemplo de que procesos como la colada continua fueron los revolucionarios de la industria siderúrgica de ese momento, es que, mientras en Japón la totalidad de sus empresas contaban con colada continua, Estados Unidos solo contaba aproximadamente con el 40% (Soto y Solé, 2001).

Existen datos del aumento productivo de Japón, en donde se ve claramente como estos desbancan a EE. UU del primer puesto de producción siderúrgica (Tabla. 6). En 1984, respecto los datos de 1975, en Estados Unidos, Reino Unido y Francia las producciones de acero bajan en un 20.7%, 24.8% y 11.8%, respectivamente. Sin embargo, Japón aumenta un 3.2%, de esta forma Japón pasa a ser la segunda potencia en producción de acero, solamente por detrás de la URSS. También cabe destacar, que Japón no solo aumenta su

producción, sino que, también aumenta su consumo respecto a 1974 en un 9.2%, signo de su evolución y del aumento de su industrialización (Rueda, 1986).

	MILLONES TONELADAS				DIF (%)
	1975	1979	1982	1984	
TOTAL MUNDIAL	643,4	746,4	645,2	710	10,3
E. U	105,8	123,7	76,8	83,9	-20,7
CANADÁ	13	18,1	11,9	14,7	12,9
JAPÓN	102,3	111,7	99,5	105,6	3,2
ALEMANIA	40,4	46	35,9	39,4	-2,5
ESPAÑA	11,1	12,2	13,2	13,5	21,5
FRANCIA	21,5	23,4	18,4	19	-11,8
ITALIA	21,9	24,3	24	24,1	10
REINO UNIDO	20,1	21,4	13,7	15,1	-24,8
BRASIL	8,4	13,9	13	18,4	119,2
MÉXICO	5,3	7,1	7,6	7,5	41,9
ÁFRICA	1,4	2	2,3	2,4	67,4
COREA DEL SUR	3	7,6	11,8	13	553,7
CHINA	23,9	34,5	37,2	43,4	81,4
POLONIA	15	19,2	14,8	16,5	10,2
RUMANIA	9,5	12,1	13,1	14,4	51,2
URSS	141,3	149,1	147,2	154,2	9,1

Tabla 6. Producción de acero mundial.

Fuente: (Rueda, 1986)

Si bien Japón está consiguiendo un aumento espectacular en su industria, países como Estados Unidos, Francia, el Reino Unido y España sufren un retroceso bastante elevado de su industrialización debido a unas caídas del consumo considerables respecto al desarrollo de industrial de otros países (Rueda, 1986).

Este momento económico permitió que países subdesarrollados obtuvieran avances espectaculares en cuanto a la producción de acero. Corea del Sur, Taiwán, Indonesia, Tailandia Hong Kong y Malasia. Países que a las productoras de acero les permitía obtener mayores ganancias de producción a menor coste, ya que el coste de la mano de obra es muy inferior respecto a los demás países. En 1984, estudios de economía decían que un obrero metalúrgico en Estados Unidos ganaba 23 dólares por hora, un valor que distaba mucho de los japoneses que ganaban 12 dólares por hora, los coreanos 4 dólares o los mejicanos 1 dólar. También tenía una gran influencia, que en estos países no se tenía en cuenta tanto el impacto medioambiental, lo que conlleva un menor coste en la producción (Rueda, 1986).

Está claro que durante la recesión de 1970 y 1980, las empresas tuvieron que reinventarse y conseguir reducir los costes de su producción sin sacrificar su calidad, de ahí que las empresas apostaran por la colada continua como principal cambio en sus instalaciones y lo incorporaron rápidamente. En algunos países la incorporación de la colada continua fue lenta, pero apostaron por ella gracias a sus infinitas ventajas frente a sus anteriores métodos productivos. En la figura 17, tenemos el ejemplo de México que tuvo una incorporación lenta pero continuamente creciente, hasta llegar a obtener casi el 90% de su producción por este método en 1996 (Soto y Solé, 2001).

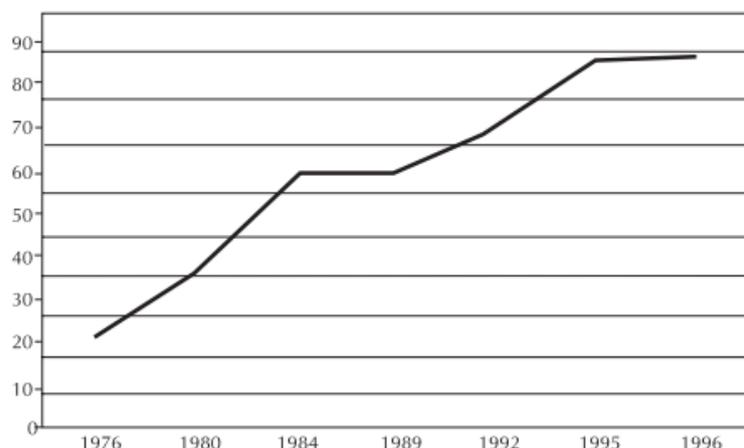


Fig. 17 Difusión de la colada continua en México (Porcentaje de la producción total)

Fuente: (Soto y Solé, 2001)

Cabe destacar el aumento de producción en Latinoamérica consiguiendo un aumento del 95% en 1985 respecto 1975. De estos los mayores productores fueron Brasil, México, Venezuela y Argentina (Rueda, 1986).

En definitiva, a parte de los diferentes costes de la mano de obra en los países, una cosa que hay clara, es que aquellos países que apostaron por una industrialización más moderna y que basaron gran parte de sus ingresos en la búsqueda de mejoras continuas en la producción, son los que se han hecho con la mayor parte de la producción industrial.

En esta tabla (Tabla 7), se representa cómo han variado la producción desde el año 1975 hasta el año 1985. Se puede ver claramente como América Latina y Estados Unidos en 1975 no tenían apenas presente en su producción procesos modernos, como son los convertidores de oxígeno, hornos eléctricos y la producción por colada continua. Sin embargo, Japón ya tenía prácticamente el 99% de su producción por hornos eléctricos y convertidores de oxígeno y, un 31% de su producción se obtenía por colada continua en 1975, un dato muy significativo ya que fue apenas unos años antes cuando se comenzó a introducir con garantías en la industria. Se puede ver fácilmente que la industria de Estados Unidos y de América Latina en estos años estaba muy por debajo de los japoneses, de ahí que estos desbancaran a Estados Unidos del segundo puesto de la producción mundial.

MODERNIZACIÓN SIDERÚRGICA EN A. LATINA, E. U Y JAPÓN						
	1975			1984		
	A.L	E. U	Japón	A.L	E. U	Japón
PRODUCC. ACERO % PROCESOS MODERNOS	58	81	99	91	91	100
ACERO POR COLADA CONTINUA %	9	9	31	42	40	89

Tabla 7. Modernización siderúrgica en América latina, E. U y Japón

Fuente: (Rueda, 1986)

Un ejemplo claro de la mejora tecnológica fue la empresa Nipón Steel, que consiguió ser la primera empresa mundial en poner en marcha una planta productora de 8 millones de toneladas con dos hornos de 10000 toneladas al día y 3 convertidores LD. Los hornos de mayor tamaño permitían tener la misma producción que las plantas con cuatro hornos

de 5000 toneladas con un menor coste de operación y de inversión. A parte de las inversiones iniciales también se conseguía reducir el precio de la mano de obra al reducir el número de procesos para conseguir el mismo fin. Comparando Nippon Steel con ENSIDESA, que tenía la misma producción, el coste de inversión Nippon Steel sería de 89 dólares por tonelada frente a 310 dólares por tonelada, lo que les permitía aventajar mucho respecto a empresas con la misma producción (Muñoz, 1981).

El caso opuesto le ocurriría a Estados Unidos que como consecuencia de realizar una gran inversión en 1950 y 1960 para cubrir la demanda de acero producida después de la segunda guerra mundial, al llegar la crisis, aún no había conseguido amortizar sus inversiones y, por tanto, no pudieron incorporar las nuevas tecnologías que estaban apareciendo (Mussi, 2017). Entre construir grandes empresas sin innovación tecnológica y el dinero destinado entre los distintos conflictos árabes, no pudieron hacer frente a los cambios tecnológicos necesarios en el momento.

Otro de los motivos de la crisis, fue la aparición de nuevos materiales como plásticos, aluminio, fibras, vidrio, aleaciones especiales, hormigón, fibrocemento, etc. Todos estos materiales obligaron a reestructurar las empresas siderúrgicas y mejorar sus productos para intentar cubrir las necesidades que se podían obtener con estos nuevos materiales. Para ello tuvieron que invertir en la investigación de métodos más modernos, ya que no solo tenían competidores dentro de la misma rama, sino que también tenían competidores fuera de ella (Mussi, 2017).

La inflación del precio del acero hizo que industrias como la automotriz cambiara radicalmente los diseños de los automóviles. Estos buscaron hacerlos cada vez más pequeños y ligeros. Un dato en el que se ve fácilmente la disminución del consumo de acero, es que en 1973 un 81.8% de los componentes de un automóvil era de acero y en los años 80, los componentes de acero comprendían un 70%, una reducción considerable (Corrales, 2007).

De esta forma la industria demandó un tipo de láminas más delgadas de acero y aceros estructurales más livianos y resistentes de propiedades especiales, no solo en caso de la industria automovilística, sino también, en la industria de electrodomésticos, en la fabricación de maquinaria, herramientas y las ramas aeronáuticas y espaciales. El que las empresas se centren en la fabricación aceros especiales, hace elevar la rentabilidad de las empresas en los países industrializados, ya que se requiere de una tecnología mucho sofisticada. De esta forma dejan que la producción de aceros especiales se haga en los países más desarrollados y fabrican el acero en bruto en los países subdesarrollados que tiene menor valor agregado debido a las necesidades tecnológicas, como pueden ser China, Corea del Sur, Taiwán y Latinoamérica (Rueda, 1986).

Estas nuevas necesidades tecnológicas altamente sofisticadas también fomentaron que se buscara la forma de obtener mayor rendimiento a estos productos, y de ahí, que se genere una mejora en la industria siderúrgica, como puede ser la colada continua de planchones delgados, ya que hasta el momento solo existía la colada continua para la fabricación de blooms y slabs. La colada continua de planchones delgados permite dar un precio final más económico y, por lo tanto, ser más competitivos también en el ámbito tecnológico más puntero (Soto y Solé, 2001).

Hoy en día la inversión de los países desarrollados en investigación de nuevos materiales más livianos, resistentes y duraderos es muy importante (Rueda, 1986).

Por tanto, el crecimiento y desarrollo tecnológico en la industria siderúrgica, se debe en cierta parte a la crisis y a la aparición de nuevos materiales. Con estos avances se consiguió reducir costes en la producción del acero, elevar la productividad, mejorar su eficiencia y una mejor calidad en los productos finales (Mussi, 2017).

Se puede decir con seguridad, que la tecnología fue la clave de la salida de la crisis de la industria siderúrgica (Mussi, 2017).

Los cambios e incorporaciones siderúrgicas principales fueron la sustitución del horno Siemens por el horno de oxígeno o convertidor LD, la incorporación del horno eléctrico y la utilización de la colada continua. La colada continua fue un factor muy importante en cuanto a la mejora de la producción, permitía una mayor producción y un mejor aprovechamiento del proceso productivo. Este proceso evitaba el enfriamiento de la colada en lingotes, ya que con este método se conseguía una preforma directamente desde la salida del horno, consiguiendo mejorar la rapidez del proceso productivo (Mussi, 2017).

Los mayores incorporadores de colada continua fueron Japón y Corea de Sur, triplicando y duplicando respectivamente a Estados Unidos en cuanto a producción de acero por este método productivo. También estos dos fueron los primeros que cambiaron los hornos Siemens por convertidores de oxígeno, obteniendo casi un cien por cien de sus fábricas con convertidores de oxígeno en los primeros años de la crisis. Estados Unidos no llegó a obtener ese porcentaje de hornos en sus fábricas hasta 1990 (Mussi, 2017).

Algunas de las empresas más importantes de la industria siderúrgica también incorporaron a partir de 1975 las nuevas tecnologías. Un ejemplo de ellas fueron Siderca y Acindar, que eran dos de las tres empresas más importantes del sector sobre los años 1984. Siderca y Acindar incorporaron a su tecnología el horno eléctrico, colada continua y un laminador continuo. Estas incorporaciones les facilitó reducir mano de obra y tener una producción mucho más automatizada. No solo la colada continua disminuyó la mano de obra, sino que, la sustitución de los hornos Siemens Martin por los convertidores de oxígeno LD, disminuyó un 30% la mano de obra. (Jerez, 2012).

Otro factor que favoreció a la industria acerera, fue la reestructuración de las empresas y la fomentación de las miniaceras. Durante esa reestructuración la producción creció considerablemente en los países en vía de desarrollo (Corrales, 2007). Las miniaceras se basaban en el uso del horno eléctrico y la colada continua (Jerez, 2012).

La aparición de las miniaceras ayudó a que las nuevas tecnologías se aplicasen en un menor tiempo que en las empresas integradas. El menor tamaño de estas solucionó el problema que tenían las grandes empresas al incorporar cambios, y este era la baja capacidad de poder incorporar cambios productivos. De esta forma se generaron ventajas en las miniaceras como la reducción de tiempo e inversiones en la construcción de la planta. También en las miniaceras se contaba con una organización administrativa más ágil y un flujo de producción más dinámico (Brown y Guzmán, 1998).

El ejemplo de que las miniaceras permitían una mejor adaptación a la mejora tecnológica y que desbancarían a las grandes empresas acereras, sería la caída de la U. S.

Steel, también se puede ver en otros ejemplos empresariales fuera del ámbito acerero, como por ejemplo IBM. La U. S. Steel fue la empresa acerera dominante en el mundo, siendo la primera corporación en el mundo con un capital de más de mil millones de dólares y en la actualidad tiene un capital mucho menor. Esta empresa se basaba en enormes acererías integradas con unos grandes volúmenes de producción (Bell, 1993).

Finalmente, estas empresas no lograron adaptarse a la actualidad, ya que, al tener tanto volumen en sus fábricas, las inversiones que hicieron fueron muy elevadas y con el tiempo se fueron quedando anticuadas. Tampoco invirtieron ni en investigación ni desarrollaron nuevos métodos de producción. Estos seguían usando hornos Siemens, mientras que los Japoneses fueron introduciendo los hornos de oxígeno actuales, que les permitía fabricar 200 toneladas de acero en 45 minutos, mientras que los de los estadounidenses tardaban 8 horas en realizar lo mismo (Bell, 1993).

Este mismo problema pasó en Japón, y es que la compañía Kimitsu Works, propiedad de la Nippon Steel Corporation, gigante de la época, producía un 30% más caro que la Tokyo Steel Company, una empresa 20 veces más pequeña, siendo además 5 veces más eficiente que la gigante Kimitsu Works, esto se debía a que fundían acero con hornos eléctricos que permitía producir en un menor tiempo y con solo el uso de chatarra, mientras que Kimitsu Works usaban grandes hornos Siemens. La Tokyo Steel Corporation es un claro ejemplo de que las miniacerías funcionan mejor en cuanto al cambio que las grandes corporaciones, ya que vale más la pena que las empresas estén abiertas a los cambios y a la mejora tecnológica continua que a las producciones centralizadas masivas (Bell, 1993).

En definitiva, el estancamiento de la demanda de acero y la subida del precio del combustible ha hecho que numerosas empresas hayan quebrado, sobre todo aquellas empresas menos desarrolladas tecnológicamente. Incluso grandes empresas acereras de Europa, Estados Unidos y Japón han quebrado por su poca capacidad para incorporar cambios. Estas grandes empresas preferían cerrar sus plantas y no modernizarlas y, pasar a mejorar y actualizar aquellas que ya estaban más adelantadas tecnológicamente, para modernizarlas lo máximo posible. De ahí que muchas de las empresas se fusionaran y se absorbieran haciendo disminuir en gran cantidad los empleos en estas factorías (Rueda, 1986).

Uno de los factores que también afecta a la industria siderúrgica es que es muy contaminante, por lo que se le exige instalar equipos de protección del medio ambiente, tanto a los equipos como a sus trabajadores, elevando así el coste de producción del acero (Rueda, 1986).

Desde 1989, la República Popular de China pasó a ser el principal productor de acero con una capacidad de 340 millones de toneladas de acero. Esto es prueba de que los países en vía de desarrollo, como China, Corea del Sur, Brasil, Méjico, constituyen los principales mercados de acero, porque las grandes empresas se establecen allí permitiéndoles presionar lo máximo posible los precios del acero. Esto es lo que hizo China después de su crisis de 1997, hizo crecer mucho la industria acerera porque el acero tenía mucha demanda. De esta forma en 2006, China se llegó a convertir en el principal proveedor de productos de acero (Corrales, 2007).

En conclusión al saturarse el mercado del acero debido a los altos precios que se habían alcanzado, principalmente ocasionado por la crisis económica producida por los combustibles a mediados de los años 70 y la aparición de los nuevos materiales, hizo a la industria siderúrgica entrar en crisis y, para poder salir de ella tuvieron que realizar cambios como, modificar el tamaño de sus plantas, modificar su organización empresarial y comercial y sobre todo mejorar su desarrollo tecnológico (Corrales, 2007).

Gracias a la crisis industrial siderúrgica, las pérdidas financieras y los costos sociales provocados por el desempleo, consiguieron que estas empresas desarrollaran prácticas comerciales más sofisticadas, nuevas estrategias de comercio y sobre todo un mayor desarrollo en cuanto a los avances tecnológicos más punteros, consiguiendo dentro del sector ser más competitivos (Corrales, 2007).

3.2 Crisis en la siderurgia española.

La industria siderúrgica española vino marcada por (Fernández, 2003):

- Tres grandes fábricas siderúrgicas, los Altos Hornos de Bilbao, La Vizcaya y la San Francisco.
- La recesión europea.
- La sustitución de los Altos Hornos de Vizcaya por una mini acería.
- La creación de ENSIDESA.

La siderurgia integral en España a mediados del siglo XX era, los Altos Hornos de Vizcaya en Baracaldo y Sestao que tenían carácter privado, la siderurgia asturiana privada y pública en Mieres, Avilés, Gijón... y Altos Hornos del Mediterráneo en Sagunto (Valencia) (Fernández, 2003).

Altos Hornos de Vizcaya fue la más importante de España y surgió de la unión financiera y técnica de Altos Hornos de Bilbao, La Vizcaya, La Iberia y la fábrica San Francisco. Durante la dictadura de primo de Rivera, Altos Hornos de Vizcaya realizó importantes inversiones y renovó sus métodos de producción llegando a conseguir una producción de 1.235.385 Tm en 1929. Esta cifra no se superó hasta 1953, que se consiguieron 1.532.370 Tm (Fernández, 2003).

Durante la Guerra Civil española se generaron algunos daños materiales en las acerías, pero no muy graves ya que en 1940 ya se habían recuperado de sus daños. Un ejemplo de los daños producidos durante la guerra fueron los bombardeos que sufrió la fábrica de Sestao, perteneciente a los Altos Hornos de Vizcaya, que recibió siete bombas el 22 de abril y once bombas el 23 de abril de 1937 (Fernández, 2003).

A partir de 1940 hubo grandes problemas con el suministro de carbón a causa de irregularidades con el abastecimiento y en el suministro de energía eléctrica. La causa de la carencia de energía eléctrica en 1943 se vinculaba a la sequía y al aumento desmesurado de la demanda. Las empresas distribuidoras de energía eléctrica estaban al límite de su capacidad. Buscaron formas de cumplir con la demanda eléctrica y en este caso la industria Siderúrgica no salió beneficiada, ya que, se les empezó a cortar la energía ciertos días a cada empresa, lo que hizo que las empresas solo pudieran fabricar durante media semana. Más adelante, a las empresas siderúrgicas se les privó de energía y tuvieron que limitar su

producción a un día y medio a la semana. Para generar energía, las industrias Siderúrgicas se vieron obligadas a destinar parte del carbón para generar energía eléctrica en vez de ser destinado para la carga del horno (Fernández, 2003).

A partir del año 1948, se permitió introducir carbón extranjero regularizando el abastecimiento energético (Fernández, 2003).

La mayoría de la producción de acero, excepto en el caso de Altos Hornos de Vizcaya, se conseguía a partir de hornos Siemens y hornos eléctricos. Aunque también existía producción a partir de convertidores de Bessemer que, aunque ya estaban obsoletos, habían sido obligados a mantenerse activos tras la Segunda Guerra Mundial, por la falta de divisas para invertir en hornos Siemens o eléctricos y, a la escasa generación de chatarra, por tanto, los convertidores Bessemer al funcionar sin chatarra siguieron funcionando. Los hornos Siemens que necesitan funcionar con una gran cantidad de chatarra fueron forzados a trabajar en malas condiciones con un bajo porcentaje de chatarra y mucha fundición (Fernández, 2003).

Debido a estas limitaciones productivas el gobierno limitó la construcción de edificios con estructura de acero y primó las viviendas de hormigón armado. Estos favorecieron a ciertas empresas productoras (Fernández, 2003).

Hacia los años 1951-1952 debido a una pequeña ayuda americana y a unas buenas cosechas, que permitieron destinar el capital de la compra de alimentos a la industria siderúrgica, se mejoraron las finanzas de estas (Fernández, 2003).

En 1952 Altos Hornos de Vizcaya comenzó a recibir las ayudas del gobierno a sus proyectos y se construyeron dos altos hornos de 600 Tm un tren blooming slabbing, un laminador de chapa fina en frío, una acería LD de oxígeno entre 1960 y 1963, esto constituía un gran avance en aquella época. Aunque todas estas inversiones fueron insuficientes para completar la demanda (Fernández, 2003).

Al acabarse la Segunda Guerra Mundial, Europa experimentó un crecimiento económico que toco techo en 1974. España se unió tarde a ese crecimiento debido a su economía autárquica, que había adquirido después de la guerra civil, y entre 1951 y 1957 se fue incorporando al exterior, llegando a abrirse totalmente en 1959. El problema de abrirse tan tarde al exterior es que tenían un aparato productivo muy obsoleto. Aun así, las empresas siderúrgicas tenían reservado la exportación interior y, para poder abastecer esta, recibieron ayuda de Estados Unidos entre otras (Fernández, 2003).

Las ayudas estadounidenses llegaron de la mano de la United States Steel C°. que en 1964 paso a formar parte de Altos Hornos de Vizcaya a cambio de prestar asistencia técnica (Fernández, 2003).

Con la inyección de capital por parte de los bancos españoles y la ayuda técnica por parte de los estadounidenses, la acería LD se comenzó a ampliar en 1966. Sustituyó dos convertidores de 36 Tm por dos de 70 Tm y otro cercano a las 70 Tm. Con estos cambios consiguieron una producción de 1.360.000 Tm (Fernández, 2003).

La mayor producción de acero LD hizo que se mejoraran los laminadores y muchas de las técnicas de postprocesado del acero (Fernández, 2003).

La técnica de obtención de acero por inyección de oxígeno era considerada por Altos Hornos de Vizcaya como una revolución en la siderurgia semejante al invento de Bessemer. Fue la octava firma del mundo en conseguir la patente para poder utilizar este proceso (Fernández, 2003).

A partir del aumento de la producción de las acerías LD se fueron abandonando los hornos Siemens (Fernández, 2003).

Ni con las mejoras llevadas a cabo en esos años, las empresas siderúrgicas podían cubrir la demanda interna. No consiguieron abastecer la demanda hasta el año 1971. En 1974 el crecimiento económico español alcanzó su cenit. La sociedad española empezó a ser consumista aumentando la demanda de electrodomésticos, coches, viviendas... (Fernández, 2003).

Según datos de Altos Hornos de Vizcaya, el 56% de la demanda española de acero la constituyen, la construcción en un 35%, el sector de la automoción en un 11% y el naval en un 10% (Fernández, 2003).

El 18 de febrero de 1972 el consejo de ministros adjudicó a Altos Hornos del Mediterráneo el concurso para la construcción y explotación de la nueva siderurgia integral. Esta nueva planta tendría un convertidor LD de oxígeno, de colada continua, un tren de bandas en caliente y otro de bandas en frío, también tendría una sección para hojalata y galvanizado. Aun así, se preveía que no iba a ser suficiente para satisfacer la demanda y se quiso ampliar la acería LD de la fábrica de Sagunto, para así conseguir fabricar un millón de toneladas anuales (Fernández, 2003).

Tras la muerte del dictador Francisco Franco a finales de 1975, se cambió el modelo económico consiguiendo una devaluación de la moneda de casi un 25%. Esto frenó las importaciones y dio un respiro a las exportaciones. Pero con ello se encarecieron las deudas y créditos extranjeros por lo que las deudas de Altos Hornos de Vizcaya aumentaron tanto, que para solucionar el problema traspasaron la empresa de Altos Hornos del Mediterráneo al sector público. Las deudas fueron creciendo hasta 1981 y se vieron obligados a cumplir ciertos requisitos por parte del gobierno. Entre otras, fueron: (Fernández, 2003)

- Reducir las plantillas
- Cerrar las instalaciones de menor rendimiento y modernizar las demás. Se decidió cerrar los Altos hornos del Mediterráneo para potenciar así ENSIDESA y Altos Hornos de Vizcaya con nuevas acerías y coladas continuas.

Estas soluciones dejaron de tener valor en 1986 al entrar España en la Comunidad Europea, desplazando al principal accionista United States Steel C^o (Fernández, 2003).

Finalmente, Altos Hornos de Vizcaya se vio obligada a cerrar sus instalaciones y altos hornos, y sustituirlo por una mini acería que se inauguró en 1996, con el nombre de Acería Compacta de Bizkaia y una capacidad de producción de 910.000 Tm al año con un grosor medio de la chapa final de 1.5mm (Fernández, 2003).

Por lo cual actualmente en España tenemos una acería integral en Asturias que es ENSIDESA y una mini acería en Vizcaya, propiedad de ArcelorMittal en Sestao (Fernández, 2003).

3.3 Actualidad en la industria siderúrgica

Actualmente en el mundo de la industria siderúrgica trabajan unos ocho millones de personas en el mundo, ya sea directamente o en industrias de apoyo. La producción de acero ha evolucionado pasando de 971 millones de toneladas a 1621 millones de toneladas al año desde 2003 a 2015, esto quiere decir que su producción aumentó en un 67%, un crecimiento bastante notable en el que China fue el principal agente de este crecimiento (Larrea y García, 2015).

Entre 2008 y 2009 la demanda de acero cayó de manera importante, aunque todos los países han recuperado su nivel de producción gradualmente a excepción de España. Esta caída se debió al repentino estancamiento de la demanda de acero en por el sector de la construcción y la industria del automóvil (Larrea y García, 2015).

La producción en China creció 582 millones de toneladas entre 2003 y 2015, teniendo 804 millones de toneladas en 2015, de esta forma China acapararía en 2015 el 49.6% de la producción mundial de acero (Larrea y García, 2015).

Una de las consecuencias de la crisis de 2008 en el sector siderúrgico son el cierre de muchas empresas, ocasionando una gran caída de empleados a nivel mundial. Desde 2008 se ha perdido el 22.6% de los puestos de trabajo por el cierre de empresas y destitución de subcontratas (Larrea y García, 2015).

Las empresas para solventar los problemas ocasionados por la crisis, se fusionan con los grandes fabricantes de acero de mayor tamaño y las compañías más pequeñas se dedican a especializarse en ámbitos de menor escala. Esto puede ocasionar problemas, tanto si forman empresas de gran tamaño, como si son muy pequeñas, ya que, si son pequeñas no pueden afrontar las inversiones o determinadas producciones y, si son muy grandes, se hacen muy poco flexibles ante los cambios (Larrea y García, 2015).

En la Unión Europea se está fomentando mucho el I+D+I para conseguir unas buenas calidades de acero, que tengan un gran valor añadido al menor coste posible. En cuanto a calidades, Europa cumple con los objetivos (Larrea y García, 2015).

Como podemos ver en la siguiente gráfica (Fig. 18), la republica Checa fue el país que más invirtió en su industria en 2014. Cabe destacar que, en 2008, España fue el segundo país que más invirtió en el sector siderúrgico, pero disminuye constantemente hasta 2014 siendo el país con menor inversión, esto se debe a que en 2007 hubo un récord de producción, que hizo que los empresarios invirtieran fuertemente en sus empresas (Larrea y García, 2015).

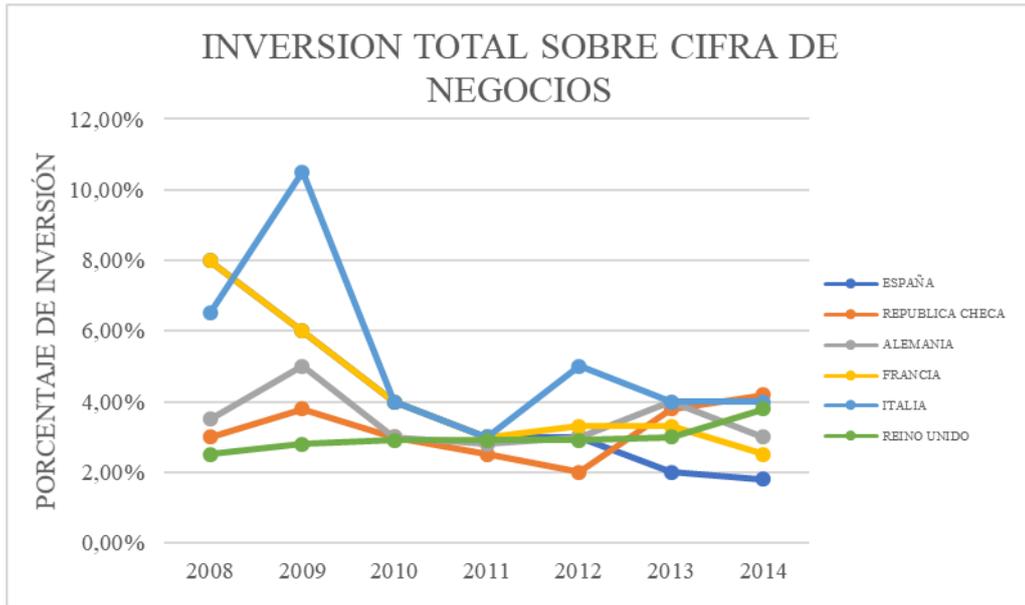


Fig. 18. Inversión total sobre la cifra de negocios.

Fuente: (Larrea y García, 2015)

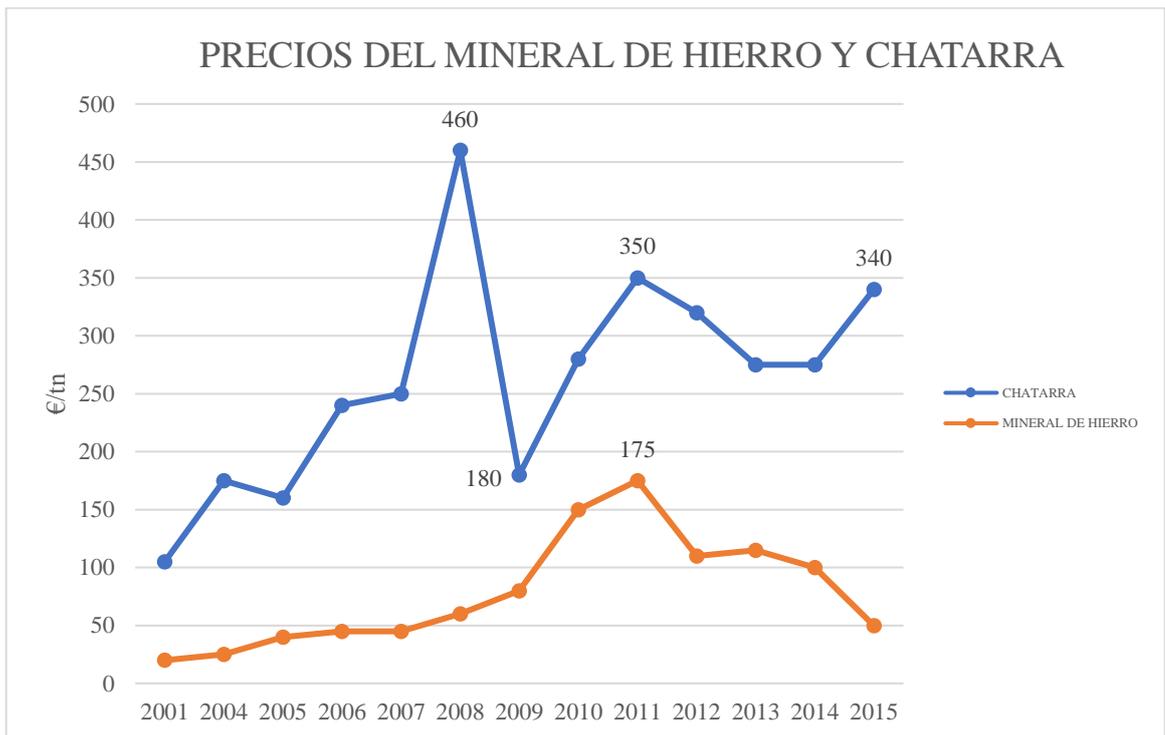


Fig. 19. Precios del mineral de hierro y la chatarra.

Fuente: (Larrea y García, 2015)

En este gráfico (Fig. 19), podemos ver el precio de dos de los componentes básicos para la fabricación de acero, en el que podemos ver la bajada en picado del precio de la chatarra justo después de entrar en crisis en el año 2008. El aumento del precio de la chatarra y la bajada del mineral de hierro, fomentará la producción de acero bruto, ya que, este acero se hace con un menor porcentaje de chatarra. Esto ocasionará que los grandes

productores de acero bruto, como son China o la India, aumenten su producción aprovechando el momento de los bajos costes. Sin embargo, los países productores con gran porcentaje de fabricación en horno eléctrico, tendrán un encarecimiento en su materia prima, la chatarra y, por tanto, tendrán que subir el precio de sus productos perjudicándoles gravemente en su economía, ya que su demanda disminuirá.

Actualmente, con datos de la World Steel Association, se fabrican en torno a unos 150 millones de toneladas al mes, lo que se traduce a unos 1.816 millones de toneladas al año. La mayor productora mundial con una diferencia abismal a la segunda, es China, con una producción que acapara el 53.8% de la producción mundial. En la siguiente tabla (Tabla 8) se puede ver con detalle la producción mundial actualmente.

Miles de toneladas										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Austria	5 662	7 206	7 474	7 421	7 953	7 876	7 687	7 438	8 135	6 885
Belgium	5 635	7 973	8 026	7 301	7 127	7 331	7 257	7 687	7 842	7 980
Bulgaria	726	737	835	633	523	612	543	527	652	666
Croatia	43	95	96	1	135	167	122	0	0	136
Czech Republic	4 594	5 180	5 583	5 072	5 171	5 360	5 262	5 305	4 550	4 938
Germany	32 670	43 830	44 284	42 661	42 645	42 943	42 676	42 080	43 297	42 435
Finland	3 066	4 029	3 989	3 759	3 517	3 807	3 988	4 101	4 003	4 146
France	12 840	15 414	15 780	15 609	15 685	16 143	14 984	14 413	15 505	15 387
Greece	2 000	1 821	1 934	1 247	1 030	1 022	910	1 158	1 359	1 467
Hungary	1 403	1 678	1 746	1 542	883	1 152	1 675	1 274	1 901	1 989
Italy	19 848	25 750	28 735	27 252	24 093	23 714	22 018	23 373	24 068	24 532
Latvia	692	655	568	805	198					
Luxembourg	2 141	2 548	2 521	2 208	2 090	2 193	2 127	2 175	2 172	2 228
Netherlands	5 194	6 651	6 937	6 879	6 713	6 964	6 995	6 917	6 781	6 813
Poland	7 128	7 993	8 779	8 366	7 950	8 558	9 198	9 001	10 332	10 167
Portugal	1 614	1 543	1 942	1 960	2 050	2 070	2 030	2 010	2 076	2 215
Romania	2 761	3 721	3 828	3 292	2 985	3 158	3 352	3 276	3 361	3 550
Slovak Republic	3 747	4 583	4 236	4 403	4 511	4 705	4 562	4 808	4 974	5 225
Slovenia	430	606	648	632	618	615	604	613	648	654
Spain	14 358	16 343	15 504	13 639	14 252	14 249	14 845	13 616	14 441	14 320
Sweden	2 804	4 846	4 867	4 326	4 404	4 539	4 557	4 817	4 926	4 654
United Kingdom	10 074	9 708	9 478	9 579	11 858	12 033	10 907	7 635	7 491	7 268
European Union (28)	139 432	172 909	177 791	168 589	166 390	169 215	166 298	162 224	168 515	167 655
Albania	221	390	464	500	550	560	150	50		
Bosnia-Herzegovina	519	592	649	700	722	793	819	806	756	695
Macedonia	270	292	386	217	100	188	121	169	273	266
Montenegro	130	130	140	120	70	140	150	120	120	120

Norway	595	530	610	700	605	600	590	620	603	575
Serbia	1 061	1 254	1 324	346	396	583	955	1 173	1 477	1 973
Switzerland	934	1 320	1 400	1 450	1 530	1 475	1 475	1 500	1 450	1 500
Turkey	25 304	29 143	34 107	35 885	34 654	34 035	31 517	33 163	37 524	37 312
Other Europe	29 034	33 650	39 079	39 917	38 627	38 374	35 778	37 601	42 203	42 441
Azerbaijan	120	120	120	120	173	180	180	180	180	200
Byelorussia	2 417	2 530	2 614	2 687	2 245	2 513	2 510	2 188	2 343	2 470
Kazakhstan	4 146	4 220	4 699	3 676	3 275	3 681	3 910	4 289	4 641	3 964
Moldova	426	240	313	335	190	351	443	126	469	497
Russia	60 011	66 942	68 852	70 209	69 008	71 461	70 898	70 453	71 491	72 042
Ukraine	29 855	33 432	35 332	32 975	32 771	27 170	22 968	24 218	21 417	21 100
Uzbekistan	716	716	733	736	746	723	643	654	654	646
C.I.S.	97 691	108 200	112 663	110 739	108 408	106 079	101 552	102 108	101 195	100 919
Canada	9 292	13 009	12 891	13 507	12 417	12 730	12 473	12 646	13 208	13 443
Cuba	267	278	282	277	322	256	284	244	221	225
El Salvador	56	64	97	72	118	121	124	100	96	99
Guatemala	224	274	294	334	385	395	403	314	294	300
Mexico	14 132	16 870	18 110	18 073	18 242	18 930	18 218	18 824	19 955	20 204
Trinidad and Tobago	417	572	603	628	616	487	591	36		
United States	59 384	80 495	86 398	88 695	86 878	88 174	78 845	78 475	81 612	86 607
North America	83 772	111 562	118 675	121 586	118 978	121 093	110 938	110 638	115 386	120 879
Argentina		5 138	5 611	4 995	5 186	5 488	5 028	4 126	4 624	5 162
Brazil		32 948	35 220	34 524	34 163	33 897	33 258	31 642	34 778	35 407
Chile		1 011	1 615	1 671	1 323	1 079	1 112	1 153	1 158	1 145
Colombia		1 208	1 287	1 302	1 236	1 208	1 211	1 272	1 253	1 219
Ecuador		372	463	425	570	667	720	576	561	583
Paraguay		59	30	44	45	47	48	35	24	25
Peru		880	877	981	1 069	1 078	1 082	1 168	1 207	1 217
Uruguay		65	81	78	91	94	97	61	58	60
Venezuela		2 207	2 980	2 359	2 139	1 485	1 345	553	444	129
South America		43 888	48 165	46 379	45 822	45 043	43 900	40 587	44 106	44 947
Algeria		662	551	557	417	415	650	650	415	2 000
D.R. Congo		30	30	30	30	30	30	30	30	30
Egypt		6 676	6 485	6 627	6 754	6 485	5 506	5 036	6 870	7 807
Ghana		25	25	25	25	25	25	25	25	25
Kenya		20	20	20	20	20	20	20	20	20
Libya		825	100	315	712	712	352	492	422	396
Mauritania		5	5	5	5	5	5	5	5	5
Morocco		485	654	539	558	501	516	520	550	600
Nigeria		100	100	100	100	100	100	100	100	100
South Africa		7 617	7 546	6 938	7 162	6 412	6 417	6 141	6 301	6 327
Tunisia		150	150	150	150	150	50	50	50	50

Uganda		30	30	30	30	30	30	30	30	30
Africa		16 624	15 696	15 337	15 963	14 885	13 701	13 099	14 818	17 390
Iran		11 995	13 197	14 463	15 422	16 331	16 146	17 895	21 236	24 520
Israel		300	300	300	300	300	300	300	300	300
Jordan		150	150	150	150	150	150	150	150	150
Oman			200	300	500	1 500	2 000	2 000	2 000	2 000
Qatar		1 970	2 038	2 145	2 236	3 019	2 593	2 521	2 644	2 575
Saudi Arabia		5 015	5 275	5 203	5 471	6 291	5 229	5 461	4 831	5 240
Syria		70	70	10	10	5	5	5	5	5
United Arab Emirates		500	2 000	2 408	2 878	2 390	3 006	3 149	3 309	3 247
Middle East		20 000	23 230	24 979	26 967	29 986	29 429	31 480	34 475	38 037
Bangladesh		78	85	87	84	90	100	100	100	100
China		638743	701968	731040	822000	822306	803825	807609	870855	928264
India		68976	73471	77264	81299	87292	89026	95477	101455	109272
Indonesia		3664	3621	2254	2644	4351	4854	4746	5195	6183
Japan		109599	107601	107232	110595	110666	105134	104775	104661	104319
D.P.R. Korea		1300	1300	1280	1250	1250	1250	1250	1250	1250
South Korea		58914	68519	69073	66061	71543	69670	68576	71030	72464
Malaysia		5694	5941	5612	4693	4316	3784	2764	3215	4108
Mongolia		35	35	35	40	45	45	50	50	50
Myanmar		25	25	25	30	35	35	35	35	35
Pakistan		1401	1592	1631	1845	2423	2892	3553	4966	4719
Philippines		1050	1200	1260	1308	1196	968	1075	1378	1475
Singapore		728	752	688	434	540	501	520	596	618
Sri Lanka		30	30	30	30	30	30	30	30	30
Taiwan, China		19755	20178	20664	22282	23221	21392	21751	22438	23240
Thailand		4145	4256	3641	3613	5835	5069	5400	6762	6403
Viet Nam		4314	4900	5298	5474	5847	5647	7811	11473	15471
Asia		918451	995474	1027114	1123682	1140986	1114222	1125522	1205489	1278001
Australia		7 296	6404	4893	4 688	4 607	4 925	5259	5328	5689
New Zealand		853	844	912	900	859	793	577	657	652
Oceania		8 149	7 248	5 805	5 588	5 466	5 717	5 837	5 985	6 341
World	1238749	1433432	1538021	1560444	1650423	1671128	1621537	1629096	1732171	1816611

Tabla 8. Miles de toneladas de acero producidas por los principales países productores de acero desde el año 2009 al 2018

Fuente: (World Steel Association, 2019.)

Sin duda alguna, China, Japón y la India, son los países que más han crecido en cuanto a la producción de acero. China es de lejos la mayor productora de acero del mundo llegando en 2018 a producir 928,264 millones toneladas de acero, detrás de este, iría la India, Japón, y Estados Unidos.

En la Unión Europea el máximo productor de acero es Alemania con una producción en 2018 de 42,435 millones de toneladas habiendo aumentado su producción

desde el 2008 en casi 10 millones de toneladas. En el caso de España la producción desde 2008 sigue estancada teniendo 14,320 millones de toneladas en 2018, signo de la crisis que ha sufrido el país durante estos años.

En el caso de Estados Unidos uno de las grandes potencias productoras de acero, ha tenido una gran evolución desde 2008, aumentando su producción de 59,384 millones de toneladas a 81,607 millones toneladas.

Cabe destacar que del 2008 al 2018, hay una diferencia abismal en cuanto al acaparamiento de la producción por parte de China, lo que hace que los demás países no puedan aumentar su producción, ya que, se ha centralizado la mayoría de la producción en ella.

También podemos ver con los datos de la siguiente tabla (Tabla 9) que métodos de obtención de acero se usan en cada país:

	Miles de toneladas				% total producción		
	CONV. OXIGENO	HORNO ELECTRICO	SIEMENS	TOTAL	CONV. OXIGENO	HORNO ELECTRICO	TOTAL
Austria	7 412	723		8 135	91.1	8.9	100
Belgium	5 340	2 500		7 840	68.1	31.9	100
Bulgaria		652		652		100	100
Croatia		0		0		100	100
Czech Republic	4 306	244		4 550	94.6	5.4	100
Germany	30 290	13 007		43 297	70.0	30.0	100
Finland	2 700	1 300		4 000	67.5	32.5	100
France	10 664	4 840		15 505	68.8	31.2	100
Greece		1 359		1 359		100	100
Hungary	1 602	298		1 901	84.3	15.7	100
Italy	4 732	19 336		24 068	19.7	80.3	100
Luxembourg		2 172		2 172		100	100
Netherlands	6 781			6 781	100		100
Poland	5 706	4 626		10 332	55.2	44.8	100
Portugal		2 056		2 076		99.0	100
Romania	2 330	1 030		3 360	69.3	30.7	100
Slovak Republic	4 619	355		4 974	92.9	7.1	100
Slovenia		648		648		100	100
Spain	4 821	9 620		14 441	33.4	66.6	100
Sweden	3 078	1 848		4 926	62.5	37.5	100
United Kingdom	5 997	1 494		7 491	80.1	19.9	100
European Union	100 379	68 110		168 509	59.6	40.4	100
Bosnia-Herzegovina	756			756	100		100
Macedonia		273		273		100	100
Montenegro		120		120		100	100
Norway		603		603		100	100
Serbia	1 477			1 477	100		100

Switzerland		1 450		1 450		100	100
Turkey	11 561	25 963		37 524	30.8	69.2	100
Other Europe	13 794	28 409		42 203	32.7	67.3	100
Azerbaijan		180		180		100	100
Byelorussia		2 343		2 343		100	100
Kazakhstan	4 581	60		4 641	98.7	1.3	100
Moldova		469		469		100	100
Russia	47 800	22 000	1 690	71 490	66.9	30.8	100
Ukraine	15 305	1 445	4 575	21 325	71.8	6.8	100
Uzbekistan		654		654		100	100
C.I.S.	67 686	27 151	6 265	101 102	66.9	26.9	100
Canada	7 271	5 937		13 208	55.1	44.9	100
Cuba		221		221		100	100
El Salvador		96		96		100	100
Guatemala		294		294		100	100
Mexico	4 721	15 234		19 955	23.7	76.3	100
United States	25 788	55 824		81 612	31.6	68.4	100
North America	37 780	77 606		115 386	32.7	67.3	100
D.R. Congo		30		30		100	100
Egypt	570	6 300		6 870	8.3	91.7	100
Ghana		25		25		100	100
Kenya		20		20		100	100
Libya		422		422		100	100
Mauritania				5			100
Morocco		550		550		100	100
Nigeria		100		100		100	100
South Africa	3 731	2 570		6 301	59.2	40.8	100
Tunisia		50		50		100	100
Uganda		30		30		100	100
Africa	4 716	10 097		14 818	31.8	68.1	100
Iran	2 235	19 000		21 235	10.5	89.5	100
Israel		300		300		100	100
Jordan		150		150		100	100
Oman		2 000		2 000		100	100
Qatar		2 644		2 644		100	100
Saudi Arabia		4 831		4 831		100	100
Syria		5		5		100	100
United Arab Emirates		3 309		3 309		100	100
Middle East	2 235	32 240		34 475	6.5	93.5	100
Bangladesh		100		100		100	100
China	790 000	81 000		871 085	90.7	9.3	100
India	46 202	55 253		101 455	45.5	54.5	100
Indonesia	2 922	2 274		5 195	56.2	43.8	100

Japan	79 343	25 318		104 661	75.8	24.2	100
South Korea	47 676	23 354		71 030	67.1	32.9	100
Malaysia	650	2 570		3 220	20.2	79.8	100
Mongolia		50		50		100	100
Myanmar		35		35		100	100
Pakistan		4 966		4 966		100	100
Philippines		1 378		1 378		100	100
Singapore		596		596		100	100
Sri Lanka		30		30		100	100
Taiwan, China	13 690	8 748		22 438	61.0	39.0	100
Thailand		6 762		6 762		100	100
Viet Nam	4 016	6 310		11 473	35.0	55.0	100
Asia	984 498	218 743		1 203 241	81.7	18.2	100
Australia	4 104	1 224			77.0	23.0	100
New Zealand	657				100		100
Oceania	4 761	1 224		5985	79.5	20.5	100
World	1 245 978	477 070	6 265	1 729 313	72.0	27.6	100

Tabla 9. Datos sobre la producción mundial por método de producción de acero.

Fuente: (World Steel Association, 2019)

Con estos datos podemos ver que en los países menos desarrollados y que tienen mayor producción de acero, tienen un menor uso del horno eléctrico, incluso en alguno de ellos no tienen uso. Sin embargo, el horno eléctrico cobra mayor protagonismo en Europa y Norteamérica, llegándose a usar prácticamente para alcanzar la misma producción en conversión de oxígeno como en horno eléctrico.

Esto se debe a que en los países menos desarrollados se ha optado por instalar empresas más grandes y, que produzcan acero bruto en grandes cantidades, ya que, la mano de obra es más barata y se usan convertidores de oxígeno. En los convertidores de oxígeno la mano de obra puede ser menos cualificada, ya que, el funcionamiento es más sencillo y se consigue la producción en menor tiempo, aunque de peor calidad, por eso es más adecuado para el acero bruto. En los países más desarrollados se instalan las miniaceras, que requieren una menor mano de obra más cualificada. Estas fábricas no requieren unos volúmenes de producción tan elevados, sino que, están destinados a fabricar aceros de diferentes prestaciones y de mayor calidad, utilizando para ello el horno eléctrico. De esta forma evitan luchar contra los productores de países menos desarrollados con los que sería imposible competir frente al mismo producto, ya que, el coste de sus productos es infinitamente inferior.

Esto se ve fácilmente en la tabla 9, donde la mayor parte de la producción de los países que poseen más desarrollo tecnológico, tienen la mayoría de producción basada en hornos eléctricos. Hay también excepciones en cuanto a los países desarrollados con mayor producción de acero como puede ser Alemania, Rusia y Japón que tienen un mayor porcentaje de acero por convertidor de oxígeno, se debe a que las grandes empresas que se han mantenido, siguen produciendo con esos métodos y se basan en producciones muy grandes.

Se puede ver como uno de los mayores exportadores de Europa de aceros inoxidables y de alta calidad como es Italia, tiene un 80.3% de su producción fabricada mediante horno de arco eléctrico, debido a que este tipo de hornos se usa para aceros de alta calidad. Estos tipos de acero tienen una menor demanda que el acero bruto, ya que su coste es mucho mayor. De esta forma las pequeñas empresas que tienen un menor volumen de producción, lo destinan a hacer productos específicos y de cierta calidad para que así, logre la forma de otorgar un valor añadido a sus productos y no basarse en producir excesivas cantidades de producto para rentabilizar su proceso.

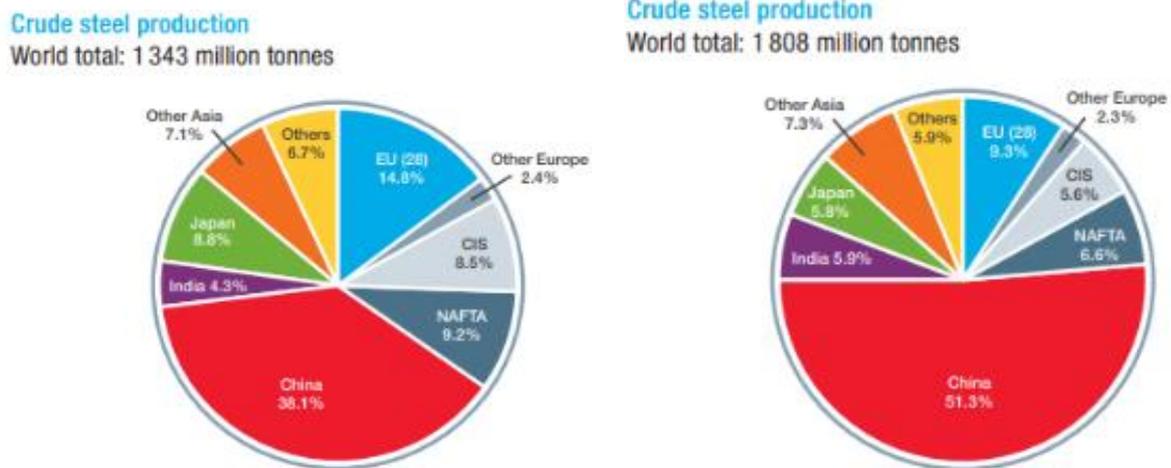


Fig. 20 Gráficos de distribución de producción mundial de acero.

Fuente: (World Steel Association, 2019)

En estos gráficos de la figura 20, se puede ver con claridad que la producción ha crecido considerablemente en China, a la vez que ha bajado la producción de Estados Unidos. Esto es debido a que la producción de acero crudo, se ha destinado a este país ya que cuesta mucho menos producirlo, debido a que su mano de obra es mucho más barata. En general la producción a partir de 2008, tras atravesar una crisis mundial, ha disminuido en todos los países y se ha centralizado en China. También la producción ha aumentado en la India, aunque en menor proporción con un 1.6%.

4 INICIOS Y DESARROLLO DEL PROCESO DE COLADA CONTINUA DEL ACERO

4.1 Definición de colada continua.

A continuación, se describen algunas palabras relacionadas con el proceso de la colada continua de acero:

- La colada continua es un proceso siderúrgico en el que se obtiene el semiproducto de acero, con la forma geométrica que se desea fabricar, de forma ininterrumpida, hasta que se agota el acero líquido que contiene la cuchara. La base del proceso consiste en verter el metal líquido directamente en un molde de

fondo desplazable, que en su interior tiene la forma final del semiproducto (UNESID, 1987).

- Slabs o palanquillas (Fig. 21). Son productos de sección cuadrada. Estos suelen ser utilizados para la laminación de perfilería (Grim, 2017).



Fig. 21 Palanquillas de acero

Fuente: Acerinox

- Blooms o planchones (Fig. 22). Son productos de sección rectangular, y estos se suelen utilizar para la fabricación de chapa y tubos redondos con soldadura. También sirven para fabricar perfiles del tipo zeta, pletinas, tubos estructurales, etc (Grim, 2017).



Fig. 22 Planchones de acero

Fuente: Acerinox

- Tocho. Es un producto similar a una palanquilla, teniendo sección cuadrada de al menos 150x150mm de lado. Tiene el mismo uso que las palanquillas lo único que tienen mayor sección.

4.2 Introducción al proceso de la colada continua

En un principio la transformación de acero bruto en un producto laminado se hacía mediante mecanismos de forja y laminación a través de martillos y prensas hidráulicas. A partir de estos métodos se fueron realizando mejoras y aparecieron los trenes de laminación continuos, que llegaban a ejercer una fuerza sobre el metal de unas 20000 toneladas (Muñoz, 1981).

El método de la colada clásica tenía un paso intermedio entre la fabricación del acero y la laminación, y era un sangrado del acero fundido en una lingotera, que posteriormente se dejaba enfriar convirtiéndose en un lingote. Este lingote posteriormente se llevaba a la planta de laminación donde se precalentaba en los hornos de fosa y se llevaba a los trenes desbastadores en lo que se fabricaban “bloms” palanquillas o “slabs” que son planchones. Los “bloms” se dedicaban a la fabricación de vigas, ángulos, carriles... y los “slabs” a la fabricación de chapa gruesa dedicada a construcciones navales y de calderería pesada (Muñoz, 1981).

Más adelante, en los años 1960, se comienza a extender un proceso que ya en 1865 había ideado Henry Bessemer, hoy lo conocemos como la colada continua. A partir de 1970 se produce una acentuada expansión de la colada continua. Los países que incorporaron en mayor cantidad este sistema fueron Japón y Corea del Sur. Este método desde su incorporación a la industria comenzó a reemplazar los métodos convencionales de colada en lingotes, obteniendo grandes ventajas frente al anterior método de colada en lingotera.

Este método presenta mayor rendimiento, mejora el trabajo en secuencia, mejor calidad del producto colado, ahorro de energía al eliminar el precalentamiento intermedio en los hornos de fosa y la supresión de los rechupes en los extremos, este método sólo lo tendrá el fallo en el extremo final de la barra (Hoat, 2013).

El empleo de la tecnología en la colada continua ha sido el causante de reemplazar prácticamente todo el sistema de colado convencional en lingotes (Cicutti, 1997).

El ciclo de trabajo básico de un sistema de colada continua se basa en suministrar acero fundido a la cuchara desde el horno. De la cuchara, mediante una válvula, se permite el paso del acero líquido hacia un distribuidor. Este distribuidor, repartirá acero fundido a varios moldes, donde al entrar en contacto con las paredes de este, comenzará la solidificación del acero. En ocasiones, en el inicio de la salida de la barra del molde, se usa barra falsa que permite dirigir la colada de acero por los rodillos. Durante el proceso de colada el molde oscila de arriba abajo para impedir que el acero se solidifique en el molde de cobre. Esta barra que sale del molde con una capa fina de acero solidificado se extrae mediante unos rodillos que guían al acero a lo largo de un arco hasta poner la barra en posición horizontal. Estos rodillos se disponen a poca distancia entre sí, para que no se rompa la cascara ni se produzca un abarrilamiento de la barra de acero. Más adelante, se va pulverizando agua para refrigerar el interior de las barras de acero y proceder a ser cortadas y almacenadas (Hoat, 2013).

Una vez introducido este proceso, se trabajó en mejorar la calidad de los productos y aumentar la productividad de las máquinas. Los avances tecnológicos han permitido acercarse a la posibilidad de obtener semiproductos de colada continua cercanos a su forma

final. Este concepto lo idearon a partir de la industria de la fundición. De esta forma se pueden acortar tiempos de fabricación y costes (Madias, 2009).

Con estos avances y mejoras se puede ver que, en la industria del acero, hay una clara tendencia a eliminar procesos de fabricación, para disminuir la inversión por tonelada y acortar tiempos de elaboración (Madias, 2009).

4.3 Colada en lingotera.

En cuanto a la colada del acero antes de la aparición de la colada continua, se vertía en una lingotera o molde metálico de sección cuadrada o rectangular, como se representa en la figura 23. Este método fue inalterado hasta que apareció la colada continua a partir de mediados del siglo XX (Aguilar, 1974).



Fig. 23 Colada en lingotera

Fuente: Puig, 2012

La fabricación a partir de colada en lingotera se basa en dos etapas (Aguilar, 1974):

- 1- Obtención de lingotes de acero.
- 2- Laminación de los lingotes en trenes de desbaste.

La obtención de los lingotes se puede hacer por varios métodos. Dentro de la colada en lingotera tenemos principalmente tres tipos (Aguilar, 1974):

- 1- Colada directa por la parte superior de los lingotes, también llamada colada a fondo. Con este método se rellena la lingotera por la parte superior. Estos se usan para fabricar aceros de alta calidad en que exigen una gran limpieza.
- 2- Colada en sifón, se llenan varias lingoteras a la vez que mediante un bebedero con varias una salida a cada lingotera. Se usa para aceros más corrientes ya que puede contener más fácilmente partículas indeseables.
- 3- Colada en artesa, se usa para aceros especiales en los que se requiere una gran precisión en la velocidad de la colada del acero.

Después de enfriarse el lingote de acero en la lingotera, se desmoldea. El lingote de acero puede oscilar entre los 25kg y las 100 toneladas, pero los más corrientes son de 250,

500, 1000, 2000 y 5000 Kg. Su forma y dimensiones también varían, los más comunes son de sección rectangular son dimensiones que varían desde 75mm hasta 1 metro (Apraiz, 1984).

Una vez que el molde llega a unos 750 o 1000°C se desmoldea, ya que no conviene que se enfríe demasiado en el molde porque si no puede producirse agarre entre el molde y el lingote (Apraiz, 1984).

La estructura interna del lingote de acero no es la misma que la obtenida por colada continua, teniendo esta última una estructura cristalina más grande, en comparación con los obtenidos por lingotera (Apraiz, 1984).

La conformación del lingote se realizaba a través de trenes de laminación. Ya en 1780 Cort, desarrolló la laminación a través de una caja desbastadora y una serie de acabadoras en línea abierta que disponía unos cilindros acanalados, que proporcionarían la forma final requerida del producto. Entre 1819 y 1825 ya se laminaban los ángulos, tes y railes. En 1833 se construyó el tren belga con el que podía fabricarse redondos y en 1847 los trenes de trio estructurales (Aguilar, 1974).

Los trenes de laminación en cuanto a tecnología no han evolucionado mucho, el tren de Cort respecto al tren de redondos, no tenía mucha diferencia en cuanto a su funcionamiento, lo único que se obtenían producciones mayores con menos personal, ya que este estaba más optimizado y mejorado, pero la esencia del proceso era la misma. Con el tren Cort se producían 70 toneladas semanales con 2000 obreros y en un tren de redondos se obtenían casi 25000 toneladas con 100 veces menos de trabajadores (Aguilar, 1974).

La colada continua desbancó a la colada en lingotera por varias razones (Aguilar, 1974):

- Eliminación de la colada en fosa, permitiendo un gran ahorro en mano de obra, materiales refractarios, lingoteras y sobre todo tiempos de producción mucho más cortos. La colada en fosa tenía problemas cuando las secciones a colar eran pequeñas y la capacidad del horno es más grande.
- La fase desbastadora desaparece en el proceso de laminación. Se evita el gasto de la alta inversión que hay que realizar en un tren desbastador. Uno de los problemas de estos trenes desbastadores, es que hasta que no se consigue un alto tonelaje anual, el tren desbastador no comienza a ser rentable. A parte el coste de desbastar también es bastante elevado, ya que requiere una gran cantidad de energía y medios.
- El rendimiento de las instalaciones de colada continua es mucho más elevado que el de la producción por lingotera, teniendo entre un 95 y 98% de rendimiento líquido/semiproducto en colada continua, por un 85 y 90% en el procedimiento clásico. Se pierde mucho menos material.
- Mejor calidad de los productos obtenidos ya que se consigue un mayor conocimiento de las causas de los defectos.

- En un principio solo se colaban aceros calmados al carbono, pero cuando se consiguió colar más tipos de acero, se dejó aún más al lado el colado en lingotera. Actualmente se cuelan más de 100 tipos de acero con calidad semejante al procedimiento de colado en lingotera.
- Al adquirir un mayor conocimiento sobre el proceso de producción, se consiguen unas mayores producciones con un menor riesgo de defectos y sucesos indeseables.
- Este método de producción se puede automatizar aún más obteniendo un mayor rendimiento y una disminución de mano de obra.
- Uno de los inconvenientes de estas instalaciones son su altura, en el caso de que sea una colada continua vertical, pero se puede mejorar con una máquina de molde curvo.

Una instalación de colada continua está formada por una o varias líneas de colada, aunque normalmente suelen ser varias líneas. En una línea de colada se puede obtener unas producciones de entre 10 y 20 toneladas por hora de palanquillas y entre 100 y 200 toneladas hora de planchones de gran sección. Estos valores superan de largo a la producción que se podría obtener mediante el moldeo en lingoteras y con una calidad superior (UNESID, 1987).

4.4 Evolución histórica de la colada continua.

La colada continua, es un nuevo método de trabajo con el que se quería fabricar palanquillas y planchones de longitud teóricamente ilimitada, partiendo directamente del acero fundido. Este nuevo método de trabajo se comenzó a desarrollar industrialmente sobre el año 1950, que es el año en que se puede decir que apareció la colada continua (Apraiz, 1984).

La idea de la colada continua la tuvo Henry Bessemer y la patentó el 25 de julio de 1865, ante la United States Patent Office, con el título de <<Improvement in the manufacture of iron and Steel>>, que significa, mejora en la fabricación de hierro y acero (Bessemer, 1865).

La idea de Bessemer consistía en fabricar laminas, chapas, barras y otras formas, obteniéndolas directamente del hierro o acero fundido. De esta forma no habría que vaciar primero el metal fundido en un molde y esperar a que se solidifique para poder darle la forma deseada (Bessemer, 1865).

La propuesta de Bessemer consistía en poner un par de rodillos con los ejes horizontales a la misma altura para recibir el metal fundido entre estos, o uno más arriba de otro para que, el que está en la parte más baja reciba el metal sobre su superficie. Estos rodillos se soportaban en unos marcos y giraban uno en dirección contraria al otro, conduciendo el metal fundido entre los rodillos. El acero previamente se vierte desde una cuchara, crisol o directamente desde un convertidor (Bessemer, 1865).

Según Bessemer el diámetro de los rodillos debía de ser grande y en sus extremos debían de tener unos topes para que el metal no se saliera por los bordes. Estos topes servirían también para determinar la anchura de la lámina, placa o barra que se fuera a producir (Bessemer, 1865).

Otra de las opciones dada por Bessemer es que los rodillos tuvieran ranuras para que dieran la forma deseada. Los rodillos al estar en contacto con hierro o acero fundido, debían de estar refrigerados por agua, y en un movimiento constante pero lento, mientras pasa el flujo de metal fundido entre ellos. La refrigeración consistía en inyectar agua a presión sobre toda la superficie del rodillo, excepto la zona en la que pasa el metal fundido. A parte de la inyección de agua en la superficie, los rodillos tenían un agujero en el centro del rodillo, que permitiría introducir agua y que este absorbiera el calor que proporciona el metal fundido al rodillo (Bessemer, 1865).

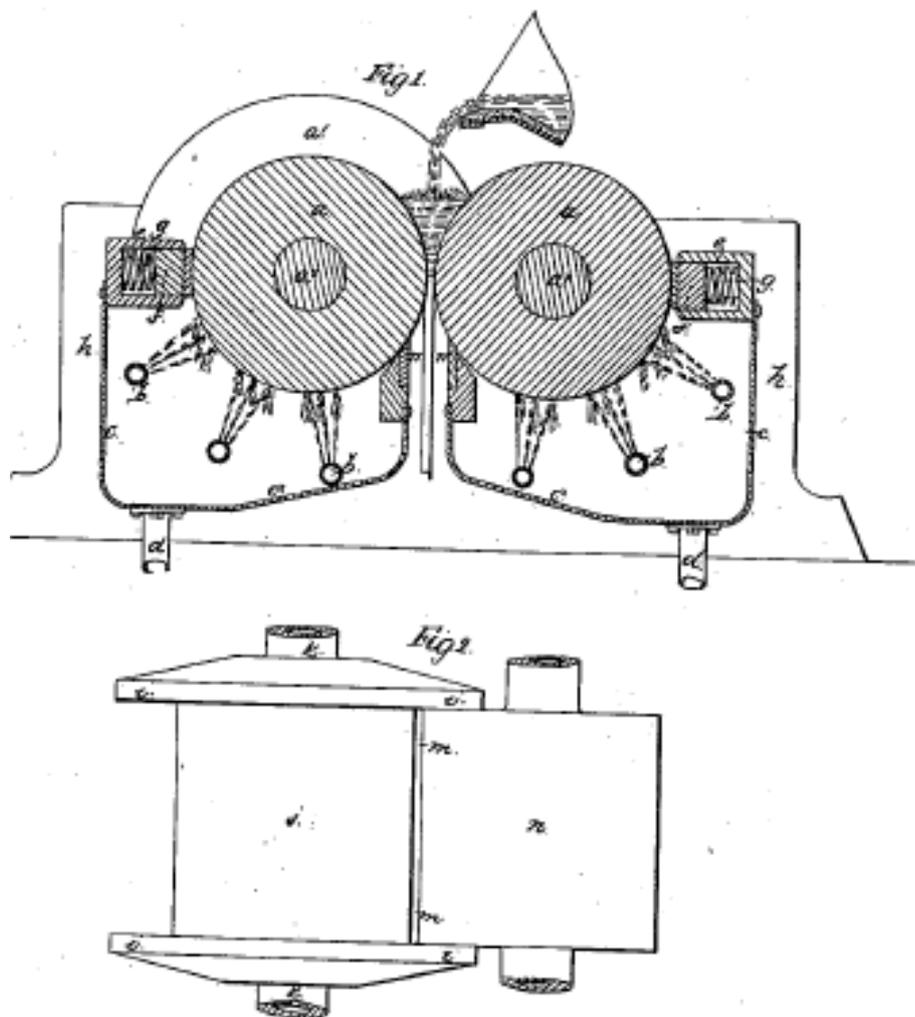


Fig. 24 Esquema de la idea de la colada continua de H. Bessemer

Fuente: (Bessemer, 1865)

Bessemer da mucha importancia a que los rodillos estén lo suficientemente refrigerados para que así, solidifique el metal fundido que entra en contacto con su superficie, consiguiendo así, que salga el metal de entre los rodillos con una cáscara sólida

que permita mantener la forma que le proporciona el hueco que hay entre los rodillos (Bessemer, 1865).

A parte de los dos primeros rodillos, Bessemer también decía que se podían poner unos rodillos posteriores e incluso recalentar la preforma del metal que sale de estos, para perfeccionar su forma final (Bessemer, 1865).

Las barras, laminas y chapas producidas con este método, al ser muy largas, se deberían de cortar para su posterior almacenaje (Bessemer, 1865).

No obstante, estas pautas dadas por Bessemer para la construcción de su máquina, no se llegaron a llevar a cabo y su máquina no se construyó (Apraiz, 1984).

El desarrollo de la idea de Bessemer fue uno de los sueños de los ingenieros dedicados a la fabricación de hierro y acero, pero les fue muy difícil llevarlo a la práctica (Sahibuya y Ozaga, 1991).

Pese a conocerse esta idea desde 1865, el desarrollo industrial de esta idea, no se realizó hasta finalizar la segunda guerra mundial en 1945. No obstante, no fue hasta a partir de los años 70 cuando la implementación de este proceso productivo comenzó a ser relevante en la industria (Cicutti y Madias, 2001).

Hasta hacer realidad a nivel industrial la idea de Bessemer, muchos ingenieros dedicados a la fabricación de hierro y acero fueron incorporando conceptos, con los que se consiguió llevar a cabo esa idea. Pero en especial cabe destacar a dos de ellos, que son por los que realmente la colada continua es hoy ampliamente utilizada, estos son Siegfried Junghans y Rossi.

En el año 1933, Siegfried Junghans patentó la idea de producir varillas metálicas de forma continua por medio de un molde oscilante. Su invento consistía en usar unos moldes de fundición por el que pasaba el metal fundido a velocidad constante. Para ello, el aporte de metal fundido debía de ser constante. El factor más importante de la idea, era que el molde fuera oscilante para que acompañara a la varilla y ayudara a su mejor producción y, después volvía a su posición inicial (Junghans, 1938).

El molde utilizado se compondría de dos partes básicas (Junghans, 1938):

- La camisa interior de fundición, que es el molde en sí, ya que tiene la forma final de la varilla.
- El encamisado exterior que permite un hueco entre ella y el molde para permitir la circulación de líquido refrigerante. Esta camisa exterior, tiene dos conductos que permiten la entrada y la salida del refrigerante.

Del molde saldría la varilla con la superficie solidificada, permitiendo mantener su forma. Esta varilla la va arrastrando unos rodillos, que giran a la misma velocidad con la que se alimenta el molde, para así llevar una velocidad en la producción de la varilla de forma continua y homogénea. De esta forma, el molde se mueve a la velocidad que es alimentado, y este a su vez, a la misma velocidad de los rodillos que arrastran el alambre. Una vez que el molde llega hasta su posición final, que es donde están los rodillos de arrastre, sube a su posición inicial, pero esta vez a una velocidad mayor (Junghans, 1938).

Para alimentar el molde, S. Junghans, proponía hacerlo directamente desde el horno, o desde un horno adicional que mantuviese el metal fundido, y de ahí se suministraría al molde desde un canal o un distribuidor. El paso del metal fundido del distribuidor al molde se hace mediante una boquilla de fundición. El metal fundido se suministra al distribuidor desde el horno de recalentamiento. Esto se hará mediante la presión que se le aplica al horno de recalentamiento mediante un generador de presión, ya que el distribuidor se posiciona por encima de este horno de recalentamiento. El motivo de que el distribuidor se ponga por encima del horno de recalentamiento, es que así su suministro por la boquilla será más calmado (Junghans, 1938).

Otra opción que Junghans proponía, consistía en poner un conducto en forma de U que comunica el horno de retención con el molde, aunque de esta forma, se controlaría peor el nivel de metal fundido que suministra al molde (Junghans, 1938).

Tanto en uno, como en otro método de suministro de metal del horno de retención al molde, durante su transcurso, se le debe aportar calor para impedir que baje la temperatura del caldo. A mayores de los medios de calentamiento, los conductos medios de transporte deben estar recubiertos por un material cerámico, para así mantener la mayor temperatura posible (Junghans, 1938).

Para que todo este proceso tuviera finalmente un resultado aceptable, Junghans, propuso algunas indicaciones. Una de ellas era, que la boquilla no se alejara mucho de la parte superior del molde a la hora de suministrar el material, ya que, esto podía producir un vaciado inestable y por consiguiente sopladuras en el metal. Otra indicación fue, que el espacio que había entre el molde y la boquilla de suministro de material se protegiera de los vapores y gases nocivos. Esto se podía conseguir creando una capa gaseosa o líquida, que impediría que se oxidara la superficie del metal fundido y se crearan escamas entre el metal y la pared del molde (Junghans, 1938).

En resumen, el método de Junghans consistía en suministrar metal fundido desde un horno a presión, a un distribuidor. Este distribuidor, mediante una boquilla calefactada suministraría metal fundido a un molde, que en su parte inferior tendría una tapa, para permitir su llenado y conseguir así el diámetro final de varilla deseado. El molde iría descendiendo a la vez que se llena en su totalidad hasta que llegara a la altura de los rodillos de arrastre. En ese momento la tapa del molde se abriría y los rodillos arrastrarían la varilla de metal, que tendría una superficie solidificada. Una vez que el molde llega al recorrido final, es decir, hasta los rodillos sube a su parte inicial para que se vaya llenando continuamente y así conseguir la formación de una varilla de metal continua. La tapa del molde solo actúa al inicio del ciclo de fabricación, para permitir el enganche con los rodillos (Junghans, 1938).

En 1948, la fábrica estadounidense Republic Steel Corporation, instaló una de las primeras máquinas de colada continua. Esta no tuvo mucho éxito y trabajó durante muy poco tiempo en su fábrica de Beaver Falls. No habían seguido las pautas que introdujo Junghans de utilizar el sistema del molde oscilante y trabajaron con un molde fijo. Esta máquina fue construida por la Babcock Wilcox (Apraiz, 1984).

Más tarde en 1949, también una empresa estadounidense, llamada Allegheny Ludlum Steel Company, creó una máquina en la fábrica de Watervliet, basado en las teorías de

Junghans. Aun así, trabajo poco tiempo y con bastante irregularidad. No fue hasta el año 1950, cuando comenzara a funcionar con regularidad y éxito industrial la primera instalación proyectada por Junghans. Esta empresa llamada Mannesman, estaba situada en Huckingen, Alemania (Apraiz, 1984).

Otro de los grandes precursores que intervino en llevar a cabo la idea de Bessemer, fue Irving Rossi. Patentó varios descubrimientos muchos de ellos gracias a los estudios de Siegfried Junghans. Entre otros, los más importantes fueron la fabricación de tubos en 1949 y la fabricación de “slabs” o planchones en 1950, por el método de colada continua. En este punto se puede ver que los avances en el método de la colada continua son más notables y están más cercanos a la fabricación. Esto en parte se debe a que se acaba de salir de la segunda guerra mundial y la demanda de acero crece, por lo que las empresas necesitan nuevas técnicas de producción, para poder ser más competitivas tanto en precio como en capacidad de producción.

Irving Rossi, era un ingeniero financiero y metalúrgico que perfeccionó máquinas de colada continua (Rossi, 1991). Pero Rossi, no solo perfeccionó máquinas, sino que también patentó varios métodos de fabricación y elementos constituyentes de las máquinas (Rossi, 1949).

El 14 de junio de 1949, Irving Rossi, con el nombre de “Method and apparatus for the continuous casting of metal tubes”, patentó un método con el que fabricar tubos de metal con el método de la colada continua. Hay que decir que esta idea no tuvo éxito por sus dificultades prácticas. Su patente la destinó particularmente a tubos de pared relativamente delgada, ya que no habían conseguido ningún método de fabricación de estos tipos de tubo por colada continua y, mejorar los métodos que se habían utilizado para tubos de pared más gruesa. Los métodos que existía para tubos de pared más gruesa que existían en el momento, no eran lo suficientemente rentables debido a su dificultad y lentitud. Otro de los problemas que tenían al fabricar tubos de pared gruesa es que su interior tenía una superficie muy rugosa e irregular (Rossi, 1949).

El 31 de junio de 1950, Rossi patentó un método para fabricar “slabs” de forma continua. Rossi buscó con esta invención eliminar la tarea de aplanar las palanquillas para poder obtener las losas. Ya se había intentado obtener “slabs” de forma continua pero no había resultado eficaz (Rossi, 1950).

Rossi perfeccionó en un principio alguna de las máquinas de Junghans que no habían sido útiles ni rentables a la hora de la industrialización. Junghans y Rossi, decidieron fundar la sociedad Concast Ltd. Siendo la empresa que más hizo crecer el método de la colada continua (Apraiz, 1984). Esta empresa se constituyó en Manhattan y en la década de 1960, ya tenían unas 63 sucursales en el mundo con 235 patentes de fabricación de metales (Rossi, 1991).

Concast Ltd., fue instalando máquinas de colada continua por las empresas siderúrgicas de todo el mundo. La primera máquina Concast fue instalada en 1952, en Inglaterra, en una de las fábricas de United Steel Company, en Barrow. En el año 1955, se instaló en Rusia, la primera máquina de colada continua que había en el país, en la empresa Krasnoa Sormovo (Apraiz, 1984).

Concast Ltd., fue una de las empresas principales dedicadas a la construcción de máquinas de colada continua, pero hay más empresas importantes de la época que se dedicaron a este trabajo, y fueron entre otras Demag, Boeheler, Koppers y Danielli (Apraiz, 1984). Algunas de estas empresas hicieron alianzas con el fin proteger sus invenciones y avances, de aquellas otras que les podían comer el terreno. Una prueba de ello fue la alianza formada por Concast, Demag, Manesman y Bohler, que crearon en 1963, la Continuous Casting Union AG (Wolf, 1992).

El tonelaje de hierro obtenido por este método fue creciendo a pasos agigantados en la industria siderúrgica mundial. Este crecimiento se debe a sus ventajas técnicas y económicas. Desde que se empezó a extender globalmente sobre la década de los setenta, se producía del orden de un 3% de la producción mundial de acero con este método. En tan solo unos 16 años, en 1986 la producción por colada continua ronda el 52%. En Japón que es uno de los países más industrializado ronda el 93% de la producción total de acero. En España la primera instalación de colada continua se hizo en 1960. A partir de aquí su crecimiento fue espectacular, pasando de producir por colada continua un 0.2%, unas 3000 toneladas, de la producción anual, a llegar en 1986 a un 61% (UNESID, 1987).

En la siguiente figura (Fig. 25) se puede ver el esquema básico de una instalación de colada continua.

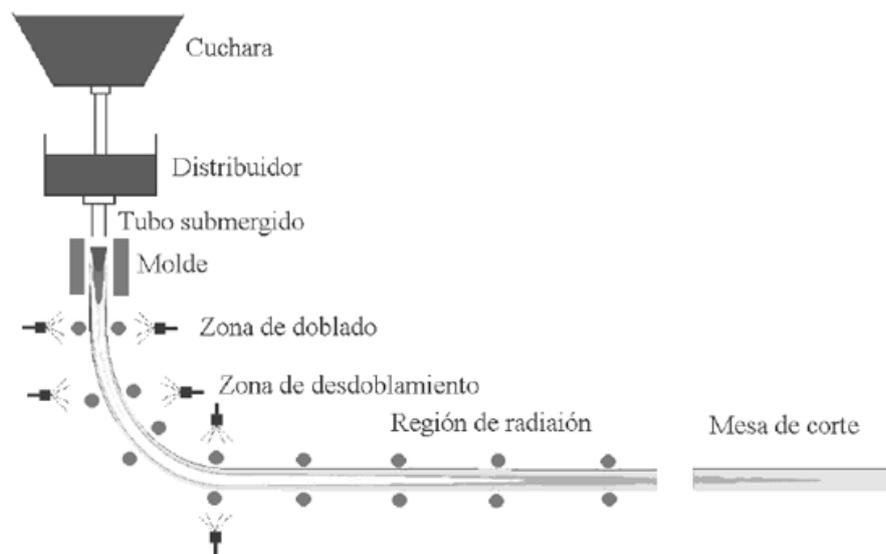


Fig. 25 Esquema de funcionamiento básico de la colada continua.

Fuente: A. Pereira, A. de Castro, J. da Silva y A. R. Duran, (2010)

En 1958 ya se tenían unas 21 máquinas de colada continua en funcionamiento y se conseguía una producción anual de 1.5 millones de toneladas. Unos diez años más tarde ya estaban en servicio unas 220 máquinas de colada continua consiguiendo una producción de 32 millones de toneladas al año. En 1973 se tenían 470 máquinas de colada continua con las que se obtenía una producción de más de 100 millones de toneladas al año (Aguilar, 1998).

La colada continua fue ocupando cada vez más porcentaje de la producción total de acero frente al método convencional de colada en fosa-tren desbastador. Esto se puede ver reflejado en la siguiente figura (Fig. 26): (Aguilar, 1998).

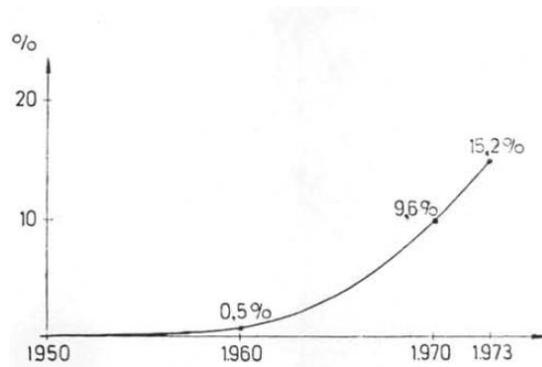


Fig. 26. Porcentaje de producción de acero por colada continua

Fuente: (Aguilar, 1998).

En el gráfico (Fig. 26) se ve como desde la incorporación de la colada continua a la fabricación industrial, sufre un crecimiento exponencial. Especialmente tiene un elevado crecimiento entre los años 70 y 73, tramo con más pendiente en el gráfico.

4.5 La colada continua en la actualidad

La evolución de la fabricación por colada continua fue creciendo con los años. Cada vez más empresas fabrican por este método. En el año 1955 funcionaban a escala industrial unas 20 instalaciones de colada continua. En 1972, había cerca de 200 empresas que generaban unos 20 millones de toneladas de acero por este método. Hay que decir que la mayoría de estas empresas sólo fabricaban palanquillas de sección cuadrada (Apraiz, 1984).

Actualmente es un proceso implantado a escala mundial, por lo que la necesidad de aumentar la producción, mejorar la calidad, disminuir costes y realizar nuevos productos, hace que se busquen innovaciones continuamente. Entre estas innovaciones, las más recientes y significativas son (Madias, 2018):

- Aumento de las dimensiones máximas de las coladas
- Mejoras en el control y automatización del proceso
- Nuevos diseños de moldes.

El aumento de las dimensiones de los tochos de coladas no solo permite conseguir más cantidad de producto, también consigue obtener aceros de mejor calidad, que están destinados a la colada en lingotera, debido a que la cristalización del metal es más lenta y, por tanto, se consigue una estructura cristalina más pequeña (Fig. 27). Para conseguir estos productos no se sigue el enfriamiento clásico de una colada continua, pero es muy similar. La prueba de la fabricación de coladas continúa de grandes dimensiones las tenemos, entre otras, en la fábrica de Zhongyuan Special Steel Co. Ltd, en China y la planta de Taewoong, en Corea. En la primera, se consiguió colar un tocho de hasta 800mm de diámetro, consiguiendo cargar sobre los rodillos de la línea 120 toneladas. La longitud del tocho estaba entre 2.5 y 6m de longitud y su diámetro podía variar entre 4000, 600 y 800mm. Su

enfriamiento secundario se hacía mediante una niebla de aire, permitiendo que su enfriamiento sea más lento y no se formen poros en el interior del metal, consiguiendo así, acero de alta calidad útil para aceros de herramientas y matricería. De esta forma la empresa pudo reemplazar su anterior colado en lingotes. En el caso de la fábrica de corea, consiguen colar secciones de 1000mm de diámetro, aunque en el caso de esta fábrica, una vez que se ha terminado el colado del material, se deja solidificar en parado, como si de colado de lingotes se tratase, prácticamente al aire libre (Madias, 2018).



Fig. 27. Tocho de grandes dimensiones en la fase de corte.

Fuente: (Madias, 2018)

En ambas empresas, buscan el enfriamiento lento del tocho para poder conseguir un acero libre de poros y grietas que se producen en los casos de enfriamiento interno rápido. En ocasiones incluso tienen un horno aparte de la línea que calienta la superficie para que no sea un enfriamiento tan brusco (Madias, 2018).

La industria tecnológica también ha llegado al campo de la colada continua. Se han incorporado robots en las acerías hace tiempo, pero, la incorporación en la colada continua es más reciente y lo que hacen es, realizar tareas que aporten más seguridad en el trabajo y fiabilidad. Entre sus tareas están las de realizar mediciones, manipular tubos que están a alta temperatura, como el que va de la cuchara al repartidor, y realizar toma de muestras (Madias, 2018).

5 INSTALACIÓN DE COLADA CONTINUA

5.1 Descripción y evolución de sus elementos

Las principales partes que constituyen una colada continua son: La torre de colada, la cuchara, la artesa, el molde o lingotera, la cámara de enfriamiento de agua, zona de enfriamiento al aire, rodillos conductores, sistema de corte y sistema de recogida y almacenamiento (Apraiz, 1984).

5.1.1 Torre de colada

La torre de colada sirve para agilizar la secuencia entre una colada y otra. Es una estructura vertical giratoria, provista de dos cucharas. Una de las cucharas alimenta la artesa y la segunda cuchara se llena y se mantiene en espera hasta que se agote el metal de la cuchara que está vertiendo en la artesa. Una vez termina, la torre gira y se pone a verter el metal la segunda cuchara (Hoat, 2013).

5.1.2 La cuchara

La cuchara es un recipiente de material refractario, que sirve de intermediario entre el horno y la máquina de colada continua (Fig. 28). De esta forma impide que el horno deje de funcionar para la siguiente colada (Apraiz, 1984).

En los inicios de la colada continua se usaban cucharas como las que normalmente se utilizaban en las acerías de fabricación en lingotes. Estas cucharas, tienen un pico en la parte superior que permitía vaciar el líquido, como si fuera una jarra. Estas cucharas disponían de una especie de sifón en su interior, que es una pared que divide el interior de la cuchara, que impedía que la escoria que flotaba en ella vertiera en la máquina de colada continua. El metal fundido pasaba por un hueco que se dejaba entre el sifón y el fondo de la cuchara, y se derramaba por la parte superior (Apraiz, 1984).

Más tarde, fueron desarrollando otros tipos de cuchara para la colada continua y fueron quedando en desuso las anteriormente nombradas. Estas tenían un mecanismo más complejo. La cuchara sigue siendo de material refractario, pero el metal fundido sale a través de una buza que esta taponada en su fondo. Este tapón está accionado por un mecanismo que permite la apertura o cierre del mismo (Apraiz, 1984).

A parte de un nuevo diseño, también se han tenido que utilizar mejores revestimientos, ya que, en el sistema de colada continua se requiere una mayor temperatura y el metal fundido permanece en la cuchara más tiempo. En un principio todo el revestimiento de la cuchara estaba compuesto por alúmina, pero este material no es lo suficientemente resistente a las altas temperaturas conseguidas en el proceso de colada continua, por ello, en algunas zonas se ha pasado a usar materiales básicos, como los productos de la línea magnesia-carbono que tienen una mayor calidad y una mejor relación de costo final (Lasquibar, Ribera, 1989).

El material refractario de una cuchara es uno de los aspectos más importantes, ya que representa en torno al 35% del uso total del material refractario de una acería (Laraudogoitia, Ibarrondo, González, Muñoz, Arteaga y Ciriza. 2006).

La cuchara se divide en varias zonas de trabajo, y cada una de ellas tiene un tipo de material refractario:

- La zona más alta, que es la línea de escoria, se usa el revestimiento de trabajo magnesia-carbono con un contenido de carbono residual de entre un 9 y un 16% (Lasquibar y Ribera, 1989). Esta es la zona que más se daña y, por tanto, la que más reparaciones necesita (Laraudogoitia, Ibarro, González, Muñoz, Arteaga y Ciriza. 2006).
- Para las paredes laterales se usa dolomita temperizada o alta alúmina ya que este revestimiento es más económico. La zona de máximo desgaste como es la zona de impacto del chorro de descarga de la colada de acero, se refuerza con magnesia-carbono reimpregnada, para así ser más resistente a la abrasión (Lasquibar y Ribera, 1989).
- En el fondo de la cuchara se usa alta alúmina y dolomita temperizada, pero en las zonas de mayor desgaste, se usa magnesia-carbono reimpregnada o magnesia-cromo de alta calidad (Lasquibar y Ribera, 1989).

Este material refractario que comprende las tres zonas citadas se nombra como revestimiento de trabajo. Para proteger aún más la chapa, se crea una capa de silico-aluminosos de bajo contenido de alúmina, con un espesor entre 30 y 65mm de espesor entre la chapa y el revestimiento de trabajo (Lasquibar y Ribera, 1989).



Fig. 28 Cuchara de colada continua.

Fuente: vibrotech

5.1.3 Artesa

La artesa es un elemento fundamental en la colada continua. Es el elemento que reparte el metal fundido de forma continua a los moldes o lingoteras de la línea de colada

continua (Fig. 29). Estas lingoteras suministran un chorro continuo y homogéneo de acero a velocidad constante. Estas artesas pueden tener tantos orificios de salida como líneas de colada existan. Existen instalaciones de colada continua pueden estar compuestas hasta por 8 líneas de colada (Apraiz, 1984).

Otra de las funciones de la artesa, consiste en separar la escoria que cubre la superficie del acero fundido. Para ello hay que tener especial cuidado al regular la salida del este metal por las buzas, esto lo conseguimos hacer con los tapones, que se regulan mecánicamente. También existen artesas con sifones que evita que la escoria pase a la parte inferior y vaya con el acero (Apraiz, 1984).

Otro elemento a parte de los tapones de la buza para regular la salida de metal, son unas compuertas horizontales que sustituyen a los tapones de las artesas. A este método se le llama sistema de buzas deslizantes (Apraiz, 1984).

En el caso de la artesa, el material refractario varía en torno al diseño de ella, pero el revestimiento más comúnmente utilizado es un revestimiento permanente de seguridad de alto contenido de alúmina de unos 175mm y un revestimiento de trabajo entre 25 y 30mm de placas secas de magnesia. Estos revestimientos secos han ido sustituyendo a los que anteriormente se usaban húmedos, evitando así, la posibilidad de contaminar con hidrogeno el acero (Apraiz, 1984).

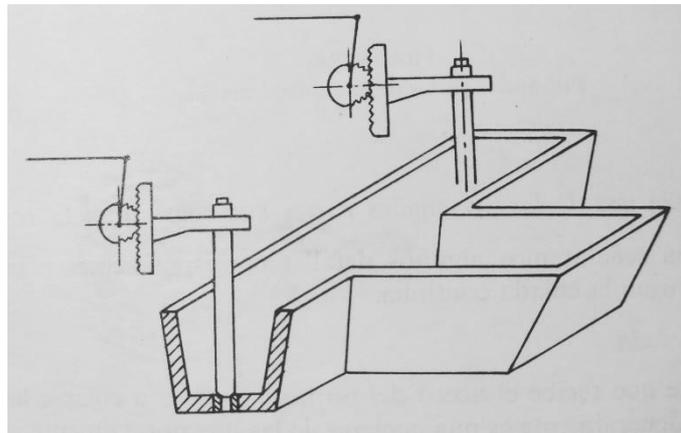


Fig. 29 Artesa.

Fuente: (Apraiz, 1984)

5.1.4 Molde

El molde sirve para dar forma al producto. Estos moldes, también llamados lingoteras, suelen ser de cobre y tienen perforaciones para que puedan ser refrigerados por agua (Fig. 30). Por el interior están pulidos y tienen forma de tubo sin fondo. La longitud varía de 500 a 800 milímetros (Apraiz, 1984).

En un principio los moldes se fabricaban a partir de un tocho macizo de cobre, al que se le mecanizaba el hueco central, por donde pasaba la colada y, unos canales de comunicación que servía para el paso del agua de refrigeración. Estos moldes tenían el inconveniente de ser muy pesados y costosos de fabricar (Apraiz, 1984).

Por esta razón se comenzaron a fabricar moldes compuestos. Este tipo de molde consistía en recubrir un tubo de cobre del perfil que se desea obtener, entre 5 y 12mm de espesor, con chapas de acero, que generaban conductos de refrigeración alrededor del tubo. De esta forma se conseguía un molde mucho más barato y menos pesado. Estos tipos de molde son uno de los más usados. Estos tipos de lingoteras se llaman water-jacket y suelen tener una vida útil entre unas 100 y 300 coladas (Apraiz, 1984).

También se usaban moldes combinados de paredes gruesas de cobre que en su interior tenían mecanizado hileras, generando unos conductos que permitían la refrigeración interna del metal. Sus paredes eran de unos 60 u 80 mm y, se encerraban en un armazón de acero. Con este tipo de molde, se podía variar las dimensiones del mismo moviendo sus paredes, ya que, se diseñaba para que fuera desmontable. Este molde tenía una ventaja frente a los moldes de pared fina y es que aguantaban mucha más capacidad de colada, entre unas 2 o 3 veces más que la fina (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

El molde debe asegurar la formación rápida de la costra exterior del lingote de forma que sea bastante gruesa y resistente. Debe de salir del molde con un espesor de entre unos 8 y 25mm. De ahí, que el molde sufra una refrigeración muy intensa, tanto en su interior como en su exterior. La refrigeración del molde suele hacerse por la entrada que tiene en la parte inferior y, por la entrada de la parte superior se evacua el agua. El paso del agua se hace a unos 5 m/s como mínimo, ya que, el agua que se evacua no tiene que exceder los 50°C. El consumo de agua está en torno a los 100 y 120 m³ (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

La solidificación del material en la colada continua se hace de forma brusca, en unos pocos minutos, esto produce fuertes tensiones y deformaciones que influyen directamente en la calidad del mismo. Es muy importante el enfriamiento del metal fundido cuando pasa por el molde, ya que, la costra debe aguantar la tensión ferrostática que ejerce el núcleo de acero líquido (Cicutti. 1997).

El calor en el molde se transmite desde el acero líquido hasta el agua de refrigeración por varios medios (Cicutti. 1997):

- Transmisión por convección en el acero líquido.
- Conducción en la chapa de acero solidificada.
- Transmisión desde la superficie del acero hasta la pared del molde.
- Conducción en el molde.
- Convección entre el molde y el agua de refrigeración.

Existen varios factores que son determinantes en la extracción de calor del molde y estos son (Cicutti. 1997):

- La velocidad de colada. Cuanto menos tiempo está la colada en el molde, se produce una mayor extracción de calor.
- El contenido de carbono del acero. Cuando el porcentaje de carbono es cercano a 0.1%, la extracción de calor es mínima.
- Efecto de los polvos coladores. Son escorias sintéticas. Los polvos de mayor viscosidad y temperatura de fusión reducen la extracción de calor.

- La forma del molde. Un molde cónico mejora la extracción calórica respecto a los moldes paralelos, ya que, permite menos espacio libre entre el acero y el molde.

Las lingoteras hasta el año 1975, en su longitud, siempre tenían la misma sección hasta, que se comenzaron a realizar con paredes cónicas teniendo una mayor sección en la parte superior del molde. El éxito de este tipo de molde, es que, el metal fundido pasa más tiempo en contacto con las paredes del molde y, por tanto, se consigue enfriar más su superficie al salir del molde (Apraiz, 1984).

Sin duda alguna, el molde, es la parte más importante de la colada continua. En el año 1933, Siegfried Junghans, patentó la idea del molde oscilante. Su invento consistía en usar unos moldes de fundición por el que pasaba el metal fundido a velocidad constante. Para ello, el aporte de metal fundido debía de ser también constante. La idea consistía en que el molde fuera oscilante y de esa forma acompañara a la barra de metal fundido, ayudando producir una mayor costra superficial en la colada de acero y, después volvía a su posición inicial (Junghans, 1938).

El molde utilizado por Junghans se compondría de dos partes básicas, la camisa interior de fundición, que es el molde en sí, ya que tiene la forma final de la barra, un encamisado exterior que permite un hueco entre ella y el molde para permitir la circulación de líquido refrigerante. Esta camisa exterior, tiene dos conductos que permiten la entrada y la salida del refrigerante (Junghans, 1938).



Fig. 30 Molde tubular de cobre

Fuente: (Madias, 2018)

Las lingoteras realizaban un movimiento vertical alternativo, acompañando a la barra. La velocidad de subida es más rápida que la de la barra y cada fabricante lo hace de una forma determinada (Apraiz, 1984). El movimiento de la lingotera impide que la costra del lingote que se forma se rompa o se atasque en las paredes del molde (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

Para poder realizar este movimiento de vaivén, el molde se apoya en un bastidor que tiene acoplado un mecanismo de vaivén que se compone de unas guías rígidas que evitan la desviación del molde de su trayectoria (Apraiz, 1984).

En la actualidad han ido surgiendo nuevos diseños de moldes para cubrir las nuevas exigencias y mejorar la productividad. En definitiva, lo que se busca es superar las limitaciones que tienen los anteriores moldes. Los moldes han ido evolucionando de molde rectos a moldes cónicos. Más tarde, fueron apareciendo los moldes de sección transversal variable, estos se usan para fabricar a alta velocidad con ausencia de defectos como romboicidad o grietas en las esquinas. Estos moldes tienen el nombre comercial de Convex, Diamold y Wave (Madias, 2018).

El molde tipo Convex (Fig. 31), fue patentado por varios ingenieros en el año 2006, pertenecientes a la empresa KME GERMANY AG & Co. KG. El molde se basaba en la optimización de su conicidad para conseguir una mejor disipación del calor y buscar la mejor adaptación posible a la contracción sufrida por la barra dentro del molde. Los inventores buscaban la forma de conseguir fabricar a alta velocidad y eliminar los defectos producidos por los anteriores moldes, consiguiendo adaptar al molde las contracciones del acero. Estos antiguos moldes, si no se trabajaba en el punto óptimo de diseño, de velocidad, temperatura y otros factores, se producen defectos superficiales e internos. Para conseguir esto, el molde tiene un particular diseño en el que las paredes de su interior tienen el contorno cóncavo, como mínimo una concavidad en cada una de sus paredes, en dirección perpendicular al movimiento de la colada. De esta forma el perfil a su salida tiene forma ondulada. A parte de la sección del molde, también es ligeramente curvo longitudinalmente (Wobker, Hugenschütt, Boldt, Kolbeck, Maiwald, Piwowar, Reinelt y Rode, 2006).

El molde tipo Diamold es una variante del tipo Convex. En este caso en la parte superior del molde comienza con sección cuadrada y se van cerrando sus caras y el radio de las esquinas. El molde es recto, no como el Convex que, en su parte longitudinal, tiene una ligera curvatura (Fig. 32) (Ogasawara, 2013).

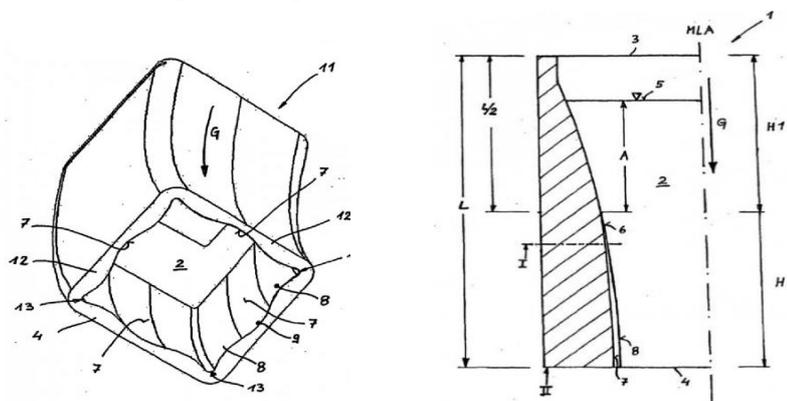


Fig. 31 Croquis del diseño de un molde curvo tipo CONVEX.

Fuente: (Wobker, Hugenschütt, Boldt, Kolbeck, Maiwald, Piwowar, Reinelt y Rode, 2006).

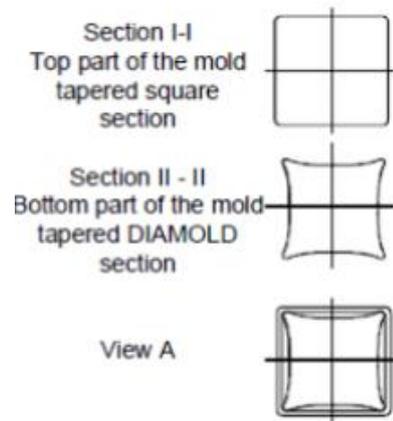


Fig. 32 Tipos de secciones de molde

Fuente: (Ogasawara, 2013)

Más novedosos son los moldes con radios diversos en sus esquinas, el radio inicial va aumentando según se avanza longitudinalmente por el molde, por ejemplo, puede pasar de 3 a 18mm. El radio de los moldes es un factor muy importante, ya que, está limitado tanto por ser muy grande como por ser muy pequeño. Los radios grandes producen grietas longitudinales en las esquinas, siendo este un defecto superficial que obliga a esmerilar la zona afectada y, si el radio es muy pequeño se producen grietas *off corner*, siendo esto un defecto interno que en algunos casos de podría dar de paso. Por lo general, lo que se ha estado usando son radios pequeños, así se evita el posterior mecanizado de las grietas longitudinales de las esquinas que producen los radios grandes (Madias, 2018).

Actualmente, se usan moldes con radio grande, pero con algunas modificaciones para que tampoco se produzcan grietas longitudinales superficiales. Como estas grietas se forman debido al enfriamiento brusco de la superficie de la pieza al entrar en contacto con la pared del molde, lo que se ha optado es por utilizar el molde con una pared más fina, que disminuye la temperatura de la cara caliente y mejora el comportamiento del agitado electromagnético. Este molde en su parte exterior tiene unas ranuras longitudinales. Al salir la barra con un radio mayor, el canto redondeado se enfría más lentamente y se forman menos grietas. Con estos moldes se podría sustituir, en algunos casos, a los moldes de placas, ya que estos son más caros y complejos. Estos moldes se llaman Invex (Madias, 2018).

También existen moldes más especiales, dedicados a la fabricación de perfilería, con una sección cercana a la forma final. Estos tipos de moldes los llaman *beam blanks* ó *dog bones*. Estos tipos de instalaciones llevan ya bastantes años en funcionamiento, la primera instalación de este tipo surgió en 1968 en la fábrica Algoma Steel (Madias, 2018).

Todas las mejoras en cuanto al diseño del molde han sido para mejorar la calidad de los productos tanto la calidad interna, como la superficial. Pero aparte del diseño, también se han incorporado otras tecnologías para conseguir estas mejoras (Madias, 2018).

Una de las mejoras más importantes que se introdujeron en el molde es la agitación electromagnética. Esta agitación en la parte superior del molde consigue una mejor

solidificación del acero sin llegar a entrar en contacto con el molde. De esta forma se consigue una mejor calidad superficial. Esta agitación actualmente no solo está en la parte superior del molde, sino que se dispone en varias zonas del proceso (Madias, 2018).

5.1.5 Cámara de enfriamiento

Esta zona, también se llama, sistema de refrigeración secundario y sirve para solidificar la zona central de la barra. Esta zona está justo a la salida del molde metálico (Apraiz, 1984).

Se dice que es enfriamiento secundario, porque el metal fundido es sometido a un enfriamiento primario al entrar en contacto con el molde (Apraiz, 1984).

Estos enfriamientos tienen mucha importancia en el resultado de la calidad del metal. El enfriamiento secundario influye considerablemente sobre la calidad interna del acero, mientras que el enfriamiento producido en el molde influye principalmente en la calidad superficial. La barra de acero se tiene que solidificar completamente en su interior al salir de la cámara de enfriamiento. Cuantas más duchas de agua tenga, más rápido se enfriará su interior (Apraiz, 1984).

El agua se pulveriza sobre la superficie del metal, de forma muy controlada. Se genera un consumo de agua muy grande, se suele usar unos 10 litros de agua por cada kilogramo de acero (Apraiz, 1984).

5.1.6 Rodillos de arrastre

Sirven para guiar la barra a la velocidad deseada por el proceso. Tiene que ir a la misma velocidad que el molde. Estos rodillos están accionados automáticamente (Apraiz, 1984). La barra suele ser tirada por una o dos cajas de toma que esta justo debajo de la zona de enfriamiento secundario. Cada caja consta de dos o tres pares de cilindros (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

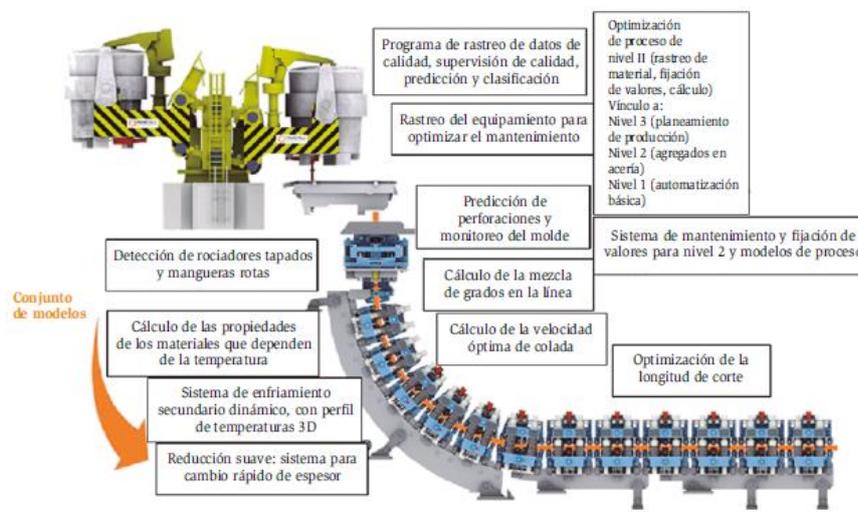


Fig. 33 Rodillos guía del tocho de colada

Fuente: (Madias, 2018)

En el caso de las coladas curvas (Fig. 33) como veremos más adelante, la disposición de los rodillos tiene que estar en un lugar determinado para poder realizar con éxito la curvatura de la barra. Estas curvas se realizan con la barra totalmente solidificada (Apraiz, 1984). En las instalaciones curvas se pone una caja de toma y enderezamiento para estirar y enderezar la barra. Esta caja, está compuesta por cilindros en la parte de arriba y en la parte de abajo. Los de abajo son locos y los de arriba son fijos y estos se aprietan contra la barra del lingote con unos cilindros hidráulicos, que hace fuera para enderezar la barra (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

5.1.7 Corte

Los mecanismos de corte dividen el producto en las longitudes que se desean. El corte se hace mediante sopletes o cizallas que se desplazan a la vez que cortan la barra (UNESID, 1987).

El corte por soplete tiene un movimiento perpendicular a la barra y otro paralelo que se mueve a la misma velocidad que la barra, gracias a un mecanismo con unos agarradores neumáticos. El problema de este tipo de corte es, que se pierde material al formarse cascarilla por donde se corta el metal. Sin embargo, aunque el corte por cizalla no tiene pérdida de material, está limitado a ciertos espesores, no puede cortar más de 200mm (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

5.1.8 Almacenamiento

Son dispositivos que sirven para recoger las barras y almacenarlas en grupos claramente identificables.

5.2 Descripción del proceso

En el proceso de la colada continua, el acero fundido se vierte de la cuchara a la artesa (Apraiz, 1984). Antes de proceder a suministrar el material fundido sobre la artesa, esta se calienta y se pone en la posición asignada sobre el molde, se abre la alimentación de agua para el molde y para el enfriamiento secundario. Una vez todo preparado, la cuchara comienza vertiendo acero fundido, hasta alcanzar una altura en la artesa de entre 0.4 y 0.6m. Una vez llega a este nivel, se abre el retén y se suministra el acero al molde a través de la buza. A parte de suministrar el material, en la buza se retiene la escoria que impide que pase a la barra que se va a fabricar (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

El molde se comienza a llenar de forma continua e ininterrumpida, pero en su inicio el molde se encuentra taponado por una barra de sacrificio. Cuando el acero fundido llega a una altura entre 200 y 300 mm de la parte superior del molde, es el momento en que los motores de los cilindros de toma, que conectan la barra, se ponen en funcionamiento a la vez que se conecta automáticamente el mecanismo de vaivén del molde. La altura prefijada de llenado del molde, tiene que corresponder con la formación de una superficie sólida de un espesor lo suficientemente grande como para que aguante la tensión ferrostática. A parte de la altura a la que hay que llenar del molde, también hay que tener en cuenta el tiempo en el que se llena el molde, para que se forme correctamente la costra. Para lingotes de

sección media y grande el tiempo varía entre 0.5 y 2 minutos (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

Durante la alimentación del molde, no puede haber interrupciones ni variaciones bruscas de la cantidad de metal suministrado. Si se interrumpe el suministro, se producen juntas soldadas en el lingote, y si se varía el consumo, se producen oscilaciones en el nivel de metal en el molde, realizando contracciones del metal en el molde. La velocidad del suministro de metal depende del punto de diseño del molde (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

El molde se puede alimentar de varias formas dependiendo de su forma geométrica entre otros factores. Existen varios métodos y entre ellos destacan (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982):

- Por chorro abierto.
- Bajo el nivel con chorro vertical.
- Bajo el nivel con chorros horizontales.

En el caso de los de bajo nivel, la buza esta recubierta por el metal fundido, evitando así la oxidación y las salpicaduras del chorro de metal. Otra ventaja es que la temperatura así es mayor en el molde y, por tanto, se disminuye su enfriamiento consiguiendo una pieza con menores grietas longitudinales en la superficie del lingote (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

Los moldes tienen que estar bien refrigerados para poder formar la costra superficial. Para iniciar la salida del molde, es necesario colocar un tope, sujeto por debajo por una larga barra vertical, llamada falsa barra o barra de sacrificio, que hace de tope en el molde impidiendo que salga el metal fundido hasta que no se forme la costra suficiente. La barra al salir del molde, tiene una parte de acero sólido en el exterior y una zona líquida en el interior (Apraiz, 1984). La velocidad de la barra cuando entra en el tren se estirado, que es donde están los rodillos que mueven la barra, debe ser la velocidad que permita mantener constante el nivel del molde, manteniendo una temperatura adecuada para el proceso. La temperatura y la velocidad de colada se elige de manera experimental según la sección de la barra que queremos conseguir y, del tipo de acero que se quiere conseguir (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

Uno de los pasos clave en la zona del molde, es el movimiento de este. El molde acompaña la barra durante su descenso, a la misma velocidad a la que este programada la colada. Este tiempo dura hasta que se alcanza un nivel de costra lo suficientemente grueso y, una vez se consigue esto, el molde sube rápidamente hacia su posición inicial y continua con su proceso. La velocidad de subida del molde, es tres veces mayor que su descenso. El movimiento alternativo del molde junto a una adecuada lubricación, permite que no se rompa el lingote durante su descenso debido al rozamiento y la adherencia con las paredes del molde. La lubricación del molde se hace mediante la adicción de parafina o aceite de colza, durante el ascenso del molde. La lubricación también crea una atmosfera reductora al quemarse protegiendo la superficie del acero (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

Está claro que, si se eleva la velocidad de colada, se consigue una mayor productividad, pero si esta velocidad se aumenta mucho, la costra puede que no sea lo suficientemente gruesa y se rompa, saliendo el metal líquido de su interior. La velocidad

de colada oscilará entre 0.4 y 8 metros por minuto, y viene determinada por la sección de la barra, siendo la velocidad más elevada cuanto menor es la sección. También depende de la forma de la sección, en el caso de las secciones rectangulares su velocidad es menor que las cuadradas de su misma área. (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

Un elemento muy importante en el molde, es la agitación electromagnética en su parte superior. Con esto se consigue disminuir la velocidad del acero líquido a la salida de la buza y de esta forma se facilita la decantación de las inclusiones. Gracias a la regulación del caudal por medio de un campo magnético giratorio, en las instalaciones se disminuye el consumo de materiales refractarios y los problemas de colabilidad. No obstante, hay que tener cuidado de que este campo magnético no cree unas turbulencias excesivas, que permitan atrapar los polvos de aditivos que se echan en la superficie del metal por la parte superior del molde. Si estos polvos se echan teniendo unas grandes turbulencias, se pueden producir atrapes de estos polvos consiguiendo un deterioro de la calidad superficial (Alvarez, Campo y Laínez, 1995).

Una vez el lingote sale del molde, hay que conseguir solidificar su parte interior, y para ello, se lleva al enfriamiento secundario completando la solidificación del corazón de la barra mediante la pulverización de una gran cantidad de agua presión sobre la superficie. La barra al salir de la pulverización de agua, sale con su interior prácticamente sólido. Una vez se consigue solidificar todo su interior, la barra entra en contacto con el mecanismo de arrastre y rodillos enderezadores (Apraiz, 1984).

Este enfriamiento tiene una gran importancia en la calidad del lingote de acero y su intensidad está regulada por la velocidad de la colada, el tamaño del lingote y las propiedades del acero. Si la velocidad de la colada es alta, la cantidad de agua de refrigeración aumentará. No obstante, hay que llegar a un equilibrio, ya que, si la refrigeración es muy intensa, podría producir grietas internas ocasionadas por las grandes tensiones en el interior del lingote y, si la refrigeración es poco intensa, se puede abombar el lingote debido a la insuficiente costra superficial. Una relación de agua común sería entre 0.5 y 0.9 litros por cada kg de acero (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

Una vez se consigue la solidificación completa del lingote se procede al corte de la barra, mediante sopletes o cizallas que acompañan el movimiento de la línea para poder realizar el corte recto en las dimensiones óptimas y posteriormente se almacenan (Apraiz, 1984).

En la imagen siguiente (Fig. 34), se puede ver el esquema de una planta de colada continua de palanquillas de acero.

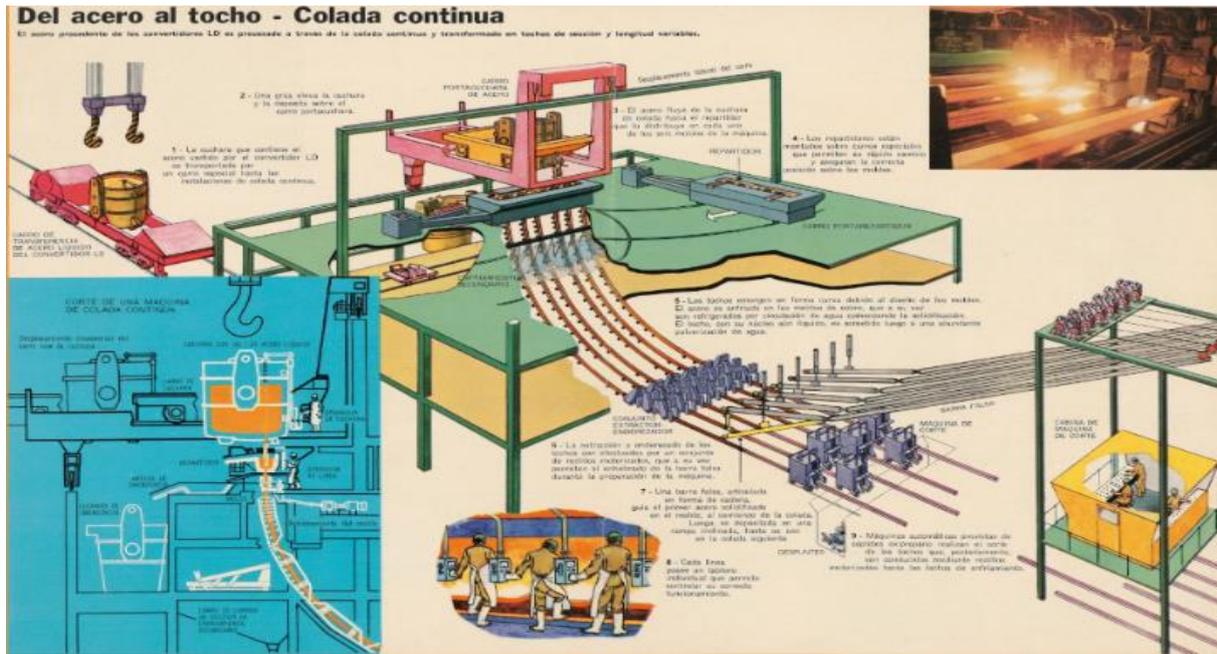


Fig. 34 Esquema proceso de colada continua de palanquillas

Fuente: (Darío Primo, 2016)

5.3 Tipos diferentes de colada continua

Los principales tipos de colada continua son cuatro (Apraiz, 1984):

- De molde vertical recto
- De molde vertical, con doblado de la palanquilla solidificada en caliente
- De molde vertical recto con doblado de la palanquilla en la zona de refrigeración secundaria, sin solidificar la barra en el interior.
- De molde curvo, con enderezado progresivo de la palanquilla.

En la siguiente figura (Fig. 35) se ve una representación de tres de los tipos de colada continua:

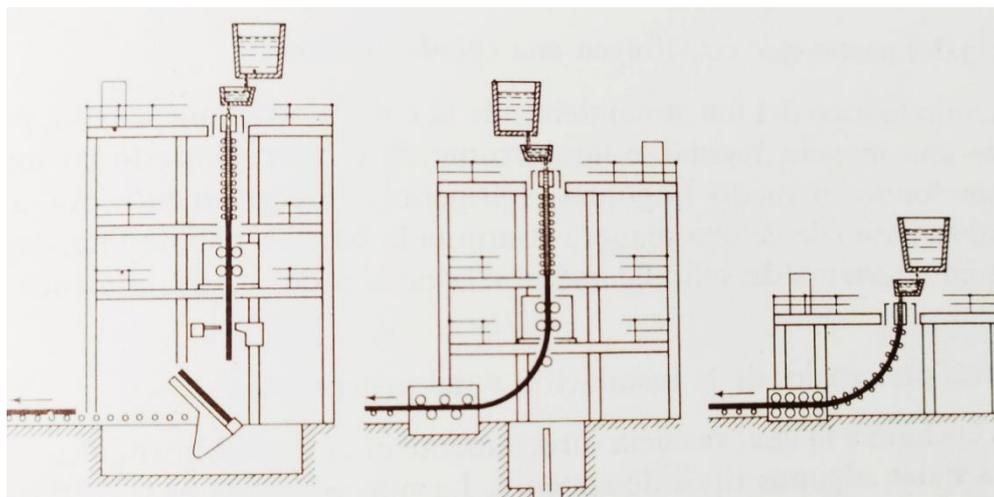


Fig. 35 Tipos de instalaciones de colada continua. La de la izquierda es de molde vertical recto. La del medio es molde vertical con doblado sólido. La de la derecha es de molde curvo.

Fuente: (Apraiz, 1984)

5.3.1 *Molde vertical recto.*

En estas instalaciones de unos 40m de altura, lo que tienen como principal inconveniente su gran altura. Las máquinas de colada continua verticales, se ponen o en grandes estructuras verticales o usando pozos subterráneos o bien una combinación de ambos. La altura de estas instalaciones variara principalmente por la altura del hoyo líquido, que es la zona del interior de la barra que se está fabricando, que aún está líquida en su proceso de solidificación. Este hoyo variará en función de las dimensiones del producto colado y de la velocidad a la que se cuela. A la altura en que la barra está totalmente solidificada, se corta mediante oxicorte o cizallas volantes. El hoyo líquido, no debe exceder los 18m, porque si se hace más grande la altura del hoyo, la presión ferrostática aumenta y puede deformar los dispositivos de apoyo del enfriamiento secundario (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

Dentro de las ventajas de la colada continua vertical está que es la instalación más económica y sencilla (Apraiz, 1984).

5.3.2 *Molde vertical con doblado solido*

Esta instalación surgió con el objetivo de evitar la gran altura que debían tener las instalaciones de colada en vertical. Su principio básico se basa en doblar la palanquilla cuando ya está solidificada la barra, lo que permite disminuir la altura de la instalación, ya que la longitud de la barra solidificada se corta en horizontal (Apraiz, 1984).

En estos tipos de máquinas tienen una parte vertical, una parte curva, y una horizontal. La parte de la curva esta justo después de la zona de enfriamiento secundario. Para poder curvar la barra se usa un cilindro instalado detrás de la caja de rodillos. Este pistón consigue introducir el lingote en los cilindros enderezadores. Después del enderezador se encuentra las máquinas de oxicorte o la cizalla hidráulica (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

El radio del curvador debe de ser de unas 30 veces como mínimo el espesor del lingote, sino se podrían producir agrietamientos en el lingote. Debido al gran radio de curvatura, mediante este tipo de máquinas no se pueden producir lingotes de gran sección, sino que está destinado a piezas inferiores a 150 o 200mm. Si se produce un lingote de gran sección el radio de curvatura sería muy grande, de forma que no se reduciría mucho la altura de la instalación y convendría más una máquina de colada continua en vertical (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

5.3.3 *Molde vertical con doblado sin solidificar*

Este tipo de instalación es muy similar a la de doblado cuando la barra está totalmente sólida, pero con la diferencia de que, en esta, el doblado se hace al salir del molde cuando el metal del interior aún es líquido. De esta forma el enfriamiento secundario se hace en una zona recta horizontal (Apraiz, 1984).

5.3.4 Molde curvo

Con este tipo de instalación se consigue mucha menor altura que con las anteriores. El molde metálico es curvo y el enfriamiento secundario se realiza en la curva. Después de pasar por el enfriamiento secundario, pasará a una zona de rodillos de enderezamiento para así conseguir que las barras sean rectas (Apraiz, 1984).

Entre las máquinas de molde curvo existen varios tipos de curvatura. La curva puede ser de radio fijo, en el que el molde se mueve siguiendo el radio de la curva y los de radio variable. Para enderezar la barra, en el caso de las de radio fijo, se realiza en la parte recta justo después de la curva mediante una caja de toma y enderezamiento. En el caso de las de radio variable, se va curvando la barra cada vez menos, según avanza por el enfriamiento secundario incorporado en la curva. De esta forma, en la curva se encontraría el tren de toma y enderezamiento. La altura de la instalación finalmente vendrá dada prácticamente por el radio de curvatura (Voskoboinikov, Kudrin, Yakushev, 1982).

5.4 Ventajas de una colada continua

El descubrimiento de este método de fabricación trajo consigo grandes ventajas tanto técnicas como económicas. Las ventajas se basan en que el proceso de colada continua implica menos costes de fabricación, con una calidad superficial mejor a la antigua colada en lingotes:

- No se precisa de grandes trenes de laminación slabbing o blooming que tienen un mayor precio (Apraiz, 1984).
- Mayor productividad (UNESID, 1987).
- Eliminación de gastos sumamente importantes como son las lingoteras, su preparación, el desmoldeo y el posterior paso por el tren desbastador (UNESID, 1987).
- Reducción de consumo de energía, ya que no se necesita volver a calentar la palanquilla (UNESID, 1987).
- Se reducen los despuntes y, por tanto, su pérdida de material consiguiendo un aumento del rendimiento de la operación. Del peso de chatarra cargada en un horno eléctrico se obtiene un rendimiento del 93 %, respecto al 83% que se obtiene en la colada en lingotera (UNESID, 1987).
- Reducción de tiempo desde que llegan las materias primas a la fábrica, hasta que se obtienen las palanquillas (Apraiz, 1984).
- La inversión para montar una fábrica de colada continua es inferior a fabricas con trenes blooming de laminación y hornos de calentamiento (Apraiz, 1984).
- La mano de obra se reduce considerablemente respecto de la colada en lingoteras (UNESID, 1987).

6 PRODUCTOS ESPECIALES FABRICADOS DE FORMA CONTINUA

6.1 Colada continua de planchones delgados

La colada continua de planchones delgados apareció en la industria en 1989 en Crawfordsville, Estados Unidos. Actualmente se tiene una producción de 50 millones de toneladas al año repartido en unas 36 plantas. De esta forma se convierte en uno de los métodos de fabricación más importantes en cuando a la fabricación de chapa delgada (Madias, 2009).

Este método es de los más elegidos para la fabricación de chapa, incluso aunque tengan que obtener calidades de acero bastante sofisticadas. En estos casos las industrias usan el freno electromagnético. Gracias al uso del freno electromagnético se puede regular mejor el flujo del acero líquido mediante la turbulencia en la parte superior del molde, consiguiendo así conseguir una superficie solida adecuada a la salida del molde (Madias, 2009).

La disposición típica inicial de las plantas de colada continua de planchones delgados, era un horno eléctrico de arco, una máquina de colada continua de una línea y, a la salida de este va a los trenes de laminación (Madias, 2009).

Entre las plantas más importantes que se basan en producir planchones delgados se encuentra ThyssenKrupp Stahl, alimentado por hornos con convertidor de oxígeno (Madias, 2009).

6.2 Colada continua de flejes

La colada continua de flejes comenzó en torno al año 1980, antes de que los planchones delgados se impusieran en la industria. Se hicieron varios experimentos usando diferentes disposiciones y cantidades de rodillos, hasta que finalmente dieron con el adecuado, que no era más que el diseñado por Bessemer 150 años antes en su idea de la colada continua, basado en el uso de dos rodillos gemelos (Madias, 2009).

En la planta piloto de Hikari de Nippon Steel Corporation en 1997, arrancó la producción de flejes de acero inoxidable de forma continua, después de varios años de experimentos. En un principio este método de fabricación se destinó a la producción de este tipo de acero. En Alemania este proceso arrancó en 1999 con el nombre de Eurostrip (Madias, 2009).

No sería hasta el año 2002, en que se llevaría a cabo este tipo de fabricación para acero al carbono. Esto se hizo en Crawfordsville tras un acuerdo entre Nucor y IHI y se comercializó con el nombre de Castrip (Madias, 2009).

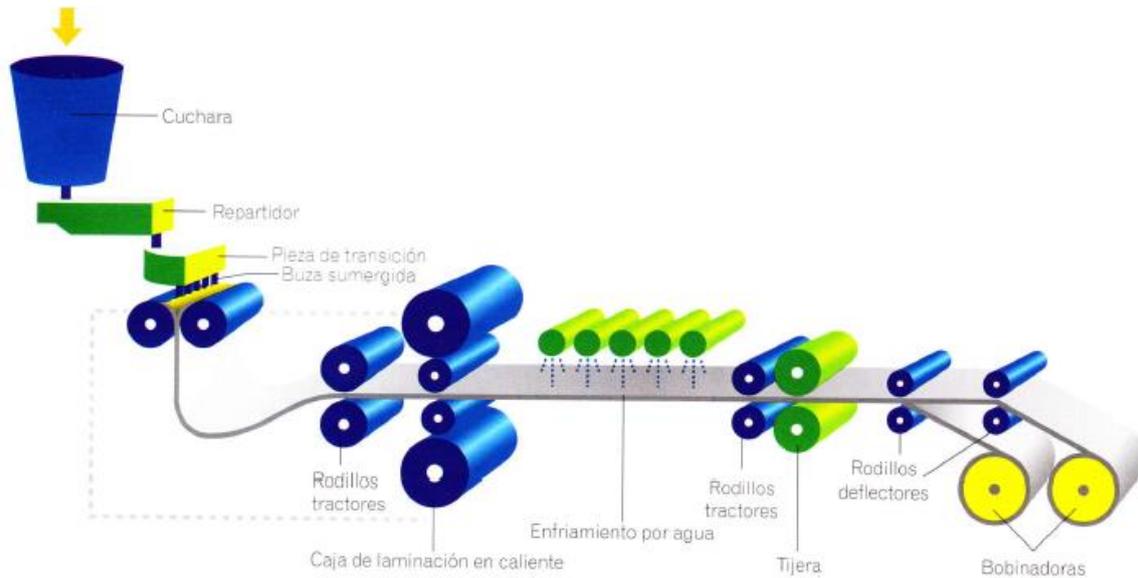


Fig. 36 Componentes principales de una colada continua de flejes.

Fuente: (Madias, 2009)

Con este método (Fig. 36) se pueden producir chapas de diferentes propiedades a las típicas de los aceros de bajo carbono debido a las condiciones particulares de solidificación, que les hacen adecuadas para los procesos de embutición (Madias, 2009).

6.3 Colada continua de esbozos para vigas

Este tipo de colada tiene en especial que se consigue una preforma de los perfiles estructurales que van a fabricarse (Fig. 37). El lingote obtenido con este método se llama *beam blanks* o *dog bones*, en honor a su forma particular. La primera instalación de este tipo surgió en Algoma Steel en 1968 y en el año 2002 ya se contaba con 45 máquinas instaladas (Madias, 2009).

En estas instalaciones hay que tener en cuenta las particularidades del soporte de la línea para que se adapte a cada parte del perfil y el diseño optimizado del molde (Madias, 2009).

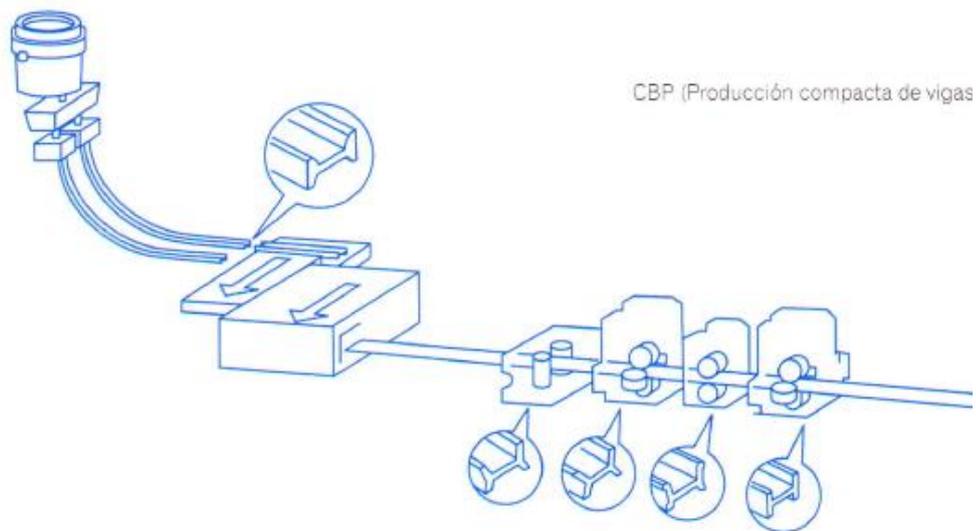


Fig. 37 Esquema de la colada continua y laminación directa de esbozos para vigas

Fuente: (Madias, 2009)

7 TENDENCIA FUTURA EN LA FABRICACIÓN DE ACERO

La tendencia que deben seguir las industrias acereras se debe basar en realizar grandes inversiones de capital en procesos que disminuyan la cantidad de energía utilizada y en innovación tecnológica, para conseguir un mayor rendimiento en sus procesos y un producto de una mejor calidad, que permita adaptarse lo máximo posible a las necesidades del mercado y de sus clientes. Si no consiguen esto, corren el peligro de que otros tipos de industrias les ganen el terreno y sean ellos los que cubran esas necesidades.

Actualmente las industriales del metal se enfrentan a una presión cada vez mayor debido al exceso de capacidad y de la bajada de los precios del mineral de hierro por parte de la industria de China. Esto ha ocasionado globalmente una intensa competencia. Por lo tanto, las empresas buscan centrarse en recortar costes (KMPG, 2015).

Mientras que los productores fuera de China tratan de cumplir con la demanda de sus clientes, los productores chinos se basan en producir con un exceso de capacidad ocasionando una bajada en los precios del acero con la intención de abastecer cualquier demanda lo más rápido posible (KMPG, 2015). Esto hace que los demás productores no puedan ser competentes.

Para intentar contrarrestar el bajo precio del acero de China, en los últimos años Estados Unidos y la Unión Europea han intentado poner medidas proteccionistas contra los productores chinos, mediante los derechos de aduana sobre la importación de acero y hierro (Coface, 2018).

Todas estas presiones generadas en la industria siderúrgica, sobre todo por parte de China, ha provocado que las perspectivas del sector del metal de los países desarrollados estén orientadas al desarrollo de nuevos productos, como puedan ser las aleaciones ultraligeras y, adoptar nuevas tecnologías de fabricación que permitan abastecer la

demanda, necesidades del mercado y las normativas medioambientales que cada vez son más estrictas (KMPG, 2015).

El desarrollo de nuevos productos cada vez más ligeros es una forma de mejorar la eficacia del uso de combustibles en el mundo automovilístico y de esa forma contribuir con el medio ambiente (KMPG, 2015).

Para recortar costes, las empresas también se están centrando en mejorar su cadena de suministros. De esta forma también podrán ser más flexibles y receptivas a la demanda de sus clientes. El centrarse en el cliente va a ser una tendencia que les permitirá consolidarse en el mercado y poder competir contra los productores chinos, aunque sus expectativas son bajas (KMPG, 2015).

Las empresas siderúrgicas están realizando inversiones en nuevas tecnologías, mercados, alianzas con otras empresas e innovaciones para impulsar el crecimiento. De cara al futuro los empresarios creen que para aumentar los ingresos y la rentabilidad tendrán que fabricar productos tecnológicamente avanzados y dejar de lado los productos básicos. Estas empresas realizarán sus inversiones de forma incremental (KMPG, 2015).

En cuanto al consumo energético mundial también hay un gran problema, y es que, tanto China como la India usan cantidades ingentes de energía y su consumo continúa creciendo. Estas tasas de consumo son insostenibles, ya que no se sabe cuándo se podría acabar con los combustibles fósiles del planeta. En algún momento tendrá que revertirse esta situación y esto afectará tanto a la demanda como a los precios de combustible. Para solucionar estos problemas se tendrá que modificar los patrones convencionales de consumo y enfatizar en el uso de las energías renovables (Maldonado, 2014).

Las industrias del acero chinas consumen sobre un 13% de la energía total de China, por lo que estos se han decantado por disminuir su consumo energético. Para ello han invertido en una serie de mejoras tecnológicas como, la colada continua, laminación continua, inyección de carbón pulverizado... Sobre todo, medios de recuperación y ahorro de energía. Estas mejoras han conseguido que el consumo energético de las industrias de acero chinas baje de un 45% a un 13% aproximadamente (Wang, 2019).

Para paliar estos problemas energéticos se están realizando mejoras técnicas con las que ahorrar energía, como puede ser la optimización del proceso de fabricación de acero en convertidor de oxígeno, que es el más utilizado en el mundo. Con las nuevas técnicas introducidas están consiguiendo mejorar la productividad, reducir costes de producción, mejorar la calidad de los productos y mejorar la protección del medio ambiente (Protopópov, 2018).

Una buena forma de disminuir el consumo de energía y con ello reducir costes de producción y mejorar la protección del medio ambiente, es utilizar el mayor porcentaje posible de chatarra en sus convertidores. La chatarra es más barata que el hierro fundido proveniente del alto horno y, a su vez, al estar reciclando, se está contribuyendo en una menor contaminación del medio ambiente, ya que desaparece el uso de energía para fabricar esa fundición y toda la energía destinada a la extracción del mineral (Protopópov, 2018).

Desde 2017 se puede apreciar en los productores rusos una clara tendencia a reducir el consumo de fundición. Aun así, el arrabio es el componente más importante en la fundición de acero. El problema de no poder incorporar más chatarra se debe a las calidades de acero que se necesitan obtener, ya que la chatarra tiene muchas impurezas y no se controla tanto su proceso dentro de los convertidores de oxígeno (Protopópov, 2018).

No solo es la preocupación por conservar el medio ambiente, sino, que los combustibles fósiles usados para generar la mayor parte de la energía de sus procesos, influye fuertemente en el coste del proceso siderúrgico.

El precio bajo de combustibles será difícil volver a alcanzarlo ya que los impuestos a los combustibles fósiles cada vez van en aumento con el fin de minimizar las emisiones al medio ambiente (Maldonado, 2014).

En el caso de la industria siderúrgica el uso de combustibles fósiles es muy necesario. Por ejemplo, el carbón lo requieren como elemento básico en la fabricación de arrabio, tanto como combustible que permite a las centrales eléctricas generar electricidad, útil para suministrar energía a sus instalaciones, como en la carga del alto horno. De ahí que cuando sube el precio de estos combustibles les afecte enormemente.

En conclusión, el futuro de las empresas acereras debe centrarse en el I+D, y colaborar con socios expertos en tecnología para poder disponer de nuevas oportunidades y, por consiguiente, cubrir las necesidades del mercado futuro y ser flexibles a los cambios (KMPG, 2015).

8 CONCLUSIONES

• **Potenciamiento de la tecnología gracias a las crisis:** Gracias a las diferentes crisis económicas y a la aparición de nuevos materiales, la industria siderúrgica tuvo la necesidad de innovar en el desarrollo de sus productos y procesos productivos. Si estos no llegan a invertir en nuevas técnicas como los convertidores de oxígeno y la colada continua, se habrían quedado atrasados y no habrían sido competitivos frente a la aparición de su nueva competencia.

Esto se puede ver claramente en el momento en que Japón durante los conflictos árabes invirtió en la tecnología más moderna, mientras que Estados Unidos, líder de la producción mundial de acero, sólo se basó en seguir produciendo con sus antiguos métodos. En cuanto se juntaron varios factores como el embargo del petróleo, la subida de precios de los combustibles y el aumento de la demanda mundial de acero, los estadounidenses no fueron capaces de ser competitivos y, fueron desbancados por la tecnología japonesa y, por el bajo coste de la mano de obra de los países subdesarrollados.

• **La importancia del petróleo:** El petróleo es el factor más determinante en el mundo de la siderurgia. El petróleo afecta por muchos caminos a este sector ya que, si sube el precio del petróleo o se produce un desabastecimiento de este, el precio de la energía necesaria para la producción de acero aumenta, los costes de distribución son mayores y la demanda de acero sería menor.

La industria automovilística, como principal cliente de la industria siderúrgica, es un claro ejemplo de cómo con el aumento del precio del petróleo la demanda de acero bajaría. Si el precio del petróleo sube, los combustibles suben, las ventas de automóviles serán menores y crecerá la demanda de vehículos con un menor consumo. La industria del automóvil como solución, buscaría reducir el consumo de varias formas, siendo una de ellas reducir el peso del automóvil. Esta medida afecta directamente al sector siderúrgico, ya que, la industria automovilística buscará materiales más ligeros y, por consecuencia, el tonelaje de acero demandado será menor.

• **Mayor mejora en el postprocesado del acero:** La colada continua se puede considerar que es el proceso productivo de fabricación de palanquillas y planchones, que más éxito ha tenido y más ha revolucionado a las empresas acereras. Desde su incorporación en la industria, fomentada por la necesidad de abastecer una gran demanda recortando los costos al máximo, se ha ido incorporando a casi la totalidad de procesos de producción de acero, sustituyendo al antiguo método de colada en lingotera. Este método consiguió mejorar el proceso enormemente en cuanto a velocidad de producción, costes y calidad. La colada continua es, hasta el momento, el mejor proceso productivo para la fabricación de grandes cantidades de acero.

• **Bessemer y la colada continua:** Sin duda alguna, Bessemer es el personaje más importante en la fabricación de acero, ya que él, con su convertidor de acero, hizo posible la idea de industrializar la fabricación del acero, ya que los anteriores métodos con los que se obtenía acero fundido eran demasiado lentos. También fue uno de los más importantes en el desarrollo de la colada continua, patentando la idea de producir acero por este método y, esta fue la que permitió a los sucesivos investigadores a llevar a cabo este proceso.

Bessemer tuvo la idea inicial de dos de los procesos de obtención de acero a nivel industrial más importantes, el convertidor de acero y la colada continua.

• **Tecnología frente al poderío de China:** La inversión en tecnología es el principal y más importante factor con el que la industria siderúrgica mundial podrá ser competitiva frente a las empresas siderúrgicas chinas y, frente a los nuevos materiales que están apareciendo. Las empresas chinas controlan el mercado de producción de acero bruto y, es imposible competir contra ellas, ya que, sus costes de producción son infinitamente menores que los de sus competidores. Por tanto, las empresas siderúrgicas deben centrarse en la innovación y el desarrollo de aleaciones ligeras y productos de mejores características y de esa forma dar un valor añadido al producto, haciendo que su producto, aunque tenga un precio mayor, sea necesario para una determinada aplicación y haya que pagar por ello.

• **Innovación y medio ambiente:** La innovación en el proceso productivo del acero, no solo tiene que buscar reducir costes para obtener un mayor beneficio, sino, que también se tiene que buscar contribuir con el medio ambiente, disminuyendo sus emisiones y reduciendo al máximo el uso de energía, sobre todo si proviene de energías no renovables.

Deben invertir en sistemas de generación de energías renovables dentro de sus propias factorías, aprovechando las inmensas extensiones de sus fábricas.

9 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- Acerinox. Consultado el 30 de diciembre de 2019 de: <https://www.acerinox.com/es/productos/producto-plano/Desbaste/>
- Aguilar, M. (1974). Consideraciones sobre la colada continua del acero. Revista de: Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio, 13(4), 283-300.
- Álvarez, G., Campo, O. y Laínez, E. (1995). Agitación electromagnética en la colada continua de acero. Rev. Metal. 31 (1), 23-29.
- Apraíz, J. (1984): Fabricación de hierro, aceros y fundiciones. Bilbao: URMO, S.A de ediciones.
- Barrera, M. y Vitto, C. (2009). El plan energético del tercer gobierno peronista (1973-1976): Potencialidades, limitaciones y consecuencias de la crisis del petróleo. IIIº jornadas de economía política. Buenos aires.
- Becerra, M. F., Nieva, N y Angiorama, C. I. (2013). Hornos, minerales y escorias: Una aproximación a la metalurgia extractiva en la puna de Jujuy en época prehispánica y colonial. Arqueología 20 (1), 13-29.
- Bell, D. Traducido por Gallo, R en 1993. La caída de las grandes empresas. Revista de: Vuelta, 201, 14-18.
- Bessemer, H. (1865). Inglaterra, Patente N.º 49053. Londres: United States Patent Office.
- Bessemer, H. (1865). Inglaterra, Patente N.º 49055. Londres: United States Patent Office.
- Bidez, L. (1920). Los progresos de la industria siderúrgica y su porvenir en Chile. Anales del instituto de Ingenieros de Chile, (5), 217-22. Consultado el 22 de febrero de 2020 en: <https://revistas.uchile.cl/index.php/AICH/article/view/33613/35331>
- Brown, F. y Guzmán, A. (1998). Cambio tecnológico y productividad en la siderurgia mexicana, 1984-1994. Revista de: Comercio Exterior, (836- 844).
- Cicutti, C. y Madias, J. (2001). Evolución histórica de la colada continua en Argentina, 13th IAS Steelmaking Seminar, Buenos Aires, Argentina.
- Cicutti, C. (1997). Transferencia de calor en la colada continua de aceros. Rev. Metal. 33 (5), 333-400.
- Coface (2018). Sector metalúrgico en el mundo. Consultado el 15 de enero de 2020, en: <https://www.coface.es>
- Corrales, S. (2007). Alianzas, fusiones y adquisiciones en la industria siderúrgica. Revista de Economía y sociedad, vol. XII (20), pp. 93-107.
- Darío, R. (2016). "SOMISA, Del arrabio al acero en el Horno Siemens-Martin. SOMISA; Una historia de acero. Consultado el 30 de Diciembre de 2019 en: <http://historiadesomisa.blogspot.com/2016/08/somisa-del-arrabio-al-acero-en-el-horno.html>
- Domínguez, A. B. (2013). La revolución industrial. Algunos logros de la ingeniería. Consultado el 22 de febrero de 2020 en: <http://www.acadning.org.ar/anales/2012/006-Domínguez.pdf>
- Fernández, E. (2003). Desarrollo, crisis y reconversión de la siderurgia española a través de una empresa vizcaína, AHV (1929-1996), Ekonomiaz N.º 54, 28-51.

- Fernández, R. (29 de mayo de 1950). Consideraciones Técnico-económicas de una marcha específica <<Duplex>> Convertidor Bessemer y horno Martin-Siemens con hierro fosforoso. En E. Fernández (presidencia), II congreso nacional de ingeniería. Congreso llevado a cabo en Madrid, España.
- González, G. (2008). El Estado y la globalización en la industria siderúrgica mexicana. México, UNAM, IIEc, Jp, 373 pp.
- Grim. (2017). SlideShare. Consultado el 1 de marzo de 2019 en: <https://es.slideshare.net/LauGrim/colada-continua>
- Historiando (2018). Edad de Cobre. Consultado el 9 de enero de 2020, en: <https://www.historiando.org/edad-de-cobre/>
- Hoat, M. (2013). Tecnología de la colada continua del acero. Revista de: Revista estudiantil nacional de ingeniería y arquitectura. 52-57.
- Irving Rossi, 101; Perfected Machines For Casting Steel (1991). Publicado en The New York Times.
- Jerez, P. (octubre de 2012). III Congreso Latinoamericano de Historia Económica y XXIII Jornadas de Historia Económica. La evolución del empleo en la industria siderúrgica entre 1975 y 1994: los casos de Argentina y Brasil. Congreso llevado a cabo en San Carlos de Bariloche. Consultado el 1 de marzo de 2019 en: <http://www.aahe.fahce.unlp.edu.ar/jornadas-de-historia-economica/iii-cladhe-xxiii-jhe/ponencias/Jerez.pdf>
- Junghans, S. (1938). Alemania, Patente N.º 748.046, Villingen: United States Patent Office.
- KMPG (2015). Perspectivas del sector global del metal. Consultado el 15 de enero de 2020 en: <https://KMPG.com/metals>
- Lacovsky, E. (26 de noviembre de 2008). La Guerra de los Seis Días en perspectiva: un análisis multivariable, VII Jornada de Medio Oriente. Congreso llevado a cabo en La Plata, Argentina.
- Larauogoitia, J.J., Ibarrodo, A., González, F., Muñoz, J. L., Arteaga, A., y Ciriza, J. (2006). Experiencias en el empleo de refractarios en la siderurgia no integral. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio. (5) 352-357
- Larrea, M y García, A. (2015). La siderurgia en España y su futuro. Orkestra – Instituto Vasco de Competitividad. (139-150).
- Lasquibar, J. I y Ribera, C. (1989). Refractario de magnesia-carbono para cucharas. BOL. SOC. ESP. CERAM. VIDR. 5, 385-393.
- Madias, J. (2009). Colada continua cerca de la forma final. Actualización Tecnológica. 36-45.
- Madias, J. (2017). Nuevas plantas latinoamericanas. Revista de Industria del acero, 562, (28- 43).
- Madias, J. (2018). Innovaciones en la colada continua de semiproductos para laminados largos. Innovación. Edición (567), 27-33.
- Madias, J. (9 de julio de 2010). Alternativas para la obtención de metal líquido: Cubilote, horno de inducción y horno eléctrico de arco. COLFUN'10 Congreso Latinoamericano de Fundición. Congreso llevado a cabo en Buenos Aires, Argentina. Consultado el 22 de noviembre de 2019 en: https://www.researchgate.net/publication/262728781_Alternativas_para_la_obten

[cion de metal liquido cubilote horno de induccion y horno electrico de arco](#)
[o](#)

- Maldonado, P. (2014). La política energética: Una asignatura pendiente a nivel país. Revista Anales, 7, (5), 25- 56.
- Máxima, J. (2019), "Edad de Bronce". Caracteristicas.co. Última edición: 3 de junio de 2019. Consultado el 29 de diciembre de 2019 en: <https://www.caracteristicas.co/edad-de-bronce/>.
- Mijares, V. M. (2003). Petróleo y conflicto internacional: aproximación a los fundamentos básicos del conflicto internacional generado por el control de las principales fuentes mundiales del petróleo. Revista venezolana de análisis de coyuntura. Vol. IX, núm. 2, julio-diciembre, pp.43-57.
- Montero, I., Benítez, E., Álvarez, H. J., Gutiérrez-Neira, P. C., Murillo-Barroso, M., Palomares, N., Menchen, G., Moraleda, J y Salazar, D. (2014). Cobre para los muertos. Estudio arqueométrico del material metálico procedente del monumento megalítico prehistórico de castillejo del bonete (Terrinches, Ciudad real), Zephyrus, LXXVIII, 109-132.
- Muñoz, M.^a. D. (1981). Técnica y producción siderúrgica. Revista: Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia, 4, 273-284.
- Mussi, E. (2017). Crisis mundial y cambio tecnológico en la rama siderúrgica en Argentina y el mundo (1970-1990). Revista de Trabajo y Sociedad. N°29, 413-429.
- Norén, A. (2018). “Edad de Hierro”. Historiando. Última edición: 2 de julio de 2018. Consultado el 29 de diciembre de 2019 en: <https://www.historiando.org/edad-de-hierro/>
- Núñez, E. (2018). Conflicto en Medio Oriente: La guerra de Yom kippur árabe (Siria-Egipto)-israelí. Consultado el 29 de diciembre de 2019 en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15827/1/Conflicto%20en%20Medio%20Oriente%20La%20guerra%20de%20YomKippur%20C3%A1rabe%20Siria-Egipto%20-Israel%20C3%AD.pdf>
- Núñez, H y Paniagua, A. (2001). Tras las huellas de nuestros orígenes. INTEF. Consultado el 10 de febrero de 2020 en: <http://ntic.educacion.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem2001/huellas/origenes/metal/index.html>
- Ocaña, J.C. (2003). La guerra árabe-israelí de 1973 (Guerra del Yom Kippur o del Ramadán). Historiasiglo20. Consultado el 20 de diciembre de 2019 en: <http://www.historiasiglo20.org/GLOS/yomkippur.htm>
- Ogasawara, F.G. (2013). ACI-243: Moldes e Refrigeração. Material de Treinamento Interno. Gerdau.
- Ohno, T. (1991). El sistema de producción de Toyota. Mas allá de la producción a gran escala. Barcelona. Ediciones Gestión 2000, S.A.
- Pereira, B. A., de Castro, J. A, da Silva. A, J y Duran. J. A. R. (2010). Modelado del proceso convencional de colada continua de aceros libre de intersticios. Revista de Información tecnológica, 21 (6), 3-12. Consultado el 19 de diciembre de

- 2019 en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642010000600002
- Protopópov, E.V. (2018). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Converter steelmaking process: state, dominant trends, forecast. Siberian State Industrial University. Novokuznetsk.
 - Puig, R. (2012). “en son de luz”. Fundido al rojo: la escultura en bronce en el taller de fundición de la facultad de bellas artes de altea. Última edición: 6 de agosto de 2012. Consultado el 30 de diciembre de 2019 en: <https://ensondeluz.com/2012/08/06/fundido-al-rojo-la-escultura-en-bronce-en-el-taller-de-fundición-de-la-facultad-de-bellas-artes-de-altea/>
 - Rengel, C. (2017). La guerra de los Seis Días cumple 50 años: seis claves para entender su importancia. Huffingtonpost. Consultado el 10 de diciembre de 2019 en: https://www.huffingtonpost.es/2017/05/26/la-guerra-de-los-seis-dias-cumple-50-anos-seis-claves-para-ente_a_22111464/
 - Rossi, I. (1949). Nueva Jersey, Patente N.º 2.473.221, West Orange: United States Patent Office..
 - Rovira, S. (2005): Metalurgia del crisol: la obtención de cobre en la prehistoria de la península ibérica. Madrid.
 - Rueda, I. (1986). La crisis de la industria siderúrgica en el mundo. Momento económico, 24, 3-6.
 - Sahibuya, K y Ozaga, M. (1991), Strip Casting Techniques for Steel, ISIJ International, 31, No. 7, pp. 661 – 668.
 - Soto, M.^a. del Rocío y Solé, F. (2001). Cambio tecnológico en la industria siderúrgica mexicana. El Cotidiano. 18(109), pp. 97 -106.
 - Steeluniversity.org. Metalurgia en el convertidor LD. Descripción del recipiente. Consultado el 30 de diciembre de 2019 en: <http://34.214.117.115/content/html/spa/default.asp?catid=24&pageid=2081272087>
 - Tarditi, J. (2000). R. Programa de investigación sobre el movimiento de la sociedad argentina. La crisis mundial de los '70 y los '80 observada a partir de la producción automotriz.
 - tareasuniversitarias.com. (2013). Proceso de fabricación. Horno de arco eléctrico. Consultado el 30 de diciembre de 2019 en: <https://tareasuniversitarias.com/horno-de-arco-electrico.html>
 - Torres, J. (2015). Crisis más importante del sector petrolero. Universidad a distancia de Madrid. Madrid. Consultado el 15 de diciembre de 2019 en: https://www.academia.edu/21855644/CRISIS_M%C3%81S_IMPORTANTES_D_EL_SECTOR_PETROLERO
 - UNESID, (1987). La siderurgia española. El proceso siderúrgico. Madrid, España: SPAINFO, S. A.
 - Verdeja, L.F., Sancho, J.P. y Verdeja, J. I. (2000). El proceso siderúrgico: El estado actual y perspectivas de futuro. Revista: RDM Revista de Minas. 173-181.

- Vibrotech engineering. Cucharas de colada y máquinas de compactación de refractario. Consultado de: <https://vibrotech-eng.com/cucharas-colada-maquinas-compactacion-refractario/>
- Voskoboinikov, V.G., Kudrin, A.A. y Yakushev, A. M. (1982). Metalurgia general, Moscu: Emir Moscú, URSS.
- Wang, H. (2019). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Development Trends of energy Saving Technologies in Chinese Steel Industry. Beijing.
- Wobker, Hans-Günter; Hugenschütt, Gerhard; Boldt, Raimund; Kolbeck, Dietmar; Maiwald, Frank; Piwowar, Hans-Dirk; Reinelt, Daniel y Rode, Dirk. (2006). Osnabruck, Patente N° E06019527, Alemania
- Wolf, M. (1992). Advances in clean Steel technology. Steel Times, Vol.220 (9). Consultado el 10 de diciembre de 2019 en: <https://search.proquest.com/openview/922f2c08d504e520ed47c5a224e5323f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1056348>
- World Steel Association (2019). Steel statistical Yearbook. Consultado el 9 de diciembre de 2019 en: <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html>