

## MATERIALES

En esta sección presentaremos distintos materiales de construcción de acero disponibles en el mercado, organizados y ordenados según su función específica para la que están diseñados y concebidos. La presentación en cada caso será genérica y se complementará con los enlaces (links) a los diferentes fabricantes y proveedores regionales, links que esperamos ir enriqueciendo con el tiempo.

Asimismo, presentamos una breve descripción del proceso siderúrgico que permite tener una perspectiva de la gran cadena de producción que está asociada a los productos y materiales de uso frecuente en la arquitectura y la construcción.

### PROCESO SIDERURGICO

El hierro es un metal que se encuentra en la corteza terrestre generalmente en forma de óxidos de hierro. La siderurgia es la metalurgia del hierro y básicamente consiste en el proceso de transformación de la materia prima del mineral de hierro en acero, o sea, en una aleación metálica constituida por Hierro y una proporción especialmente reducida de Carbono (entre 0,02 y 2%) más algunos metales adicionados (Cromo, cobre, fósforo, manganeso, molibdeno, níquel, silicio, vanadio titanio, entre otros) que le otorgan a la aleación propiedades específicas.

El **hierro colado** (o cast iron) utilizado en las primeras estructuras era producido en fundición de altos hornos, pero no podía ser forjado y era extraordinariamente quebradizo. Se fundía rápidamente ante la acción del calor y, aunque trabajaba bien a la compresión, no tenía resistencia a la tracción. La primera construcción en este tipo de hierro corresponde al puente sobre el río Severn en 1775. El **hierro forjado** que fue empleado por Eiffel en sus construcciones de fines del siglo XIX, también llamado hierro batido o hierro dulce, tiene una mejor resistencia a la tracción, y se obtiene a partir del hierro colado al que se le oxidan las impurezas en hornos en los que se remueve la carga batiendo la mezcla fundida con barras de acero. Este tipo de hierro es posible de laminar en formas de pletinas y ángulos y otras secciones.

En la producción del acero se requiere la presencia de varias materias primas que cumplen distintas funciones en su proceso de producción. Ellas son:

**MINERAL DE HIERRO:** El mineral de hierro es un compuesto de hierro, oxígeno e impurezas como el azufre, sílice y fósforo. Los minerales de baja ley son triturados hasta convertirse en polvo. Las partículas de hierro se separan magnéticamente y luego se concentran y fusionan en pellets con un alto contenido de hierro.

**COQUE:** Sirve como combustible al quemarse rápidamente con un calor suficientemente intenso como para fundir el mineral. La combustión genera los gases necesarios para desprender el oxígeno del mineral. También proporciona el carbono que se requerirá más tarde para la fabricación del acero.

**PIEDRA CALIZA:** La piedra caliza triturada es una piedra gris compuesta principalmente por carbonato de calcio. Derretida purifica el hierro y actúa como fundente (empleado para remover materiales indeseados) absorbiendo el azufre, fósforo e impurezas. Esto forma una escoria, que flota sobre el hierro líquido.

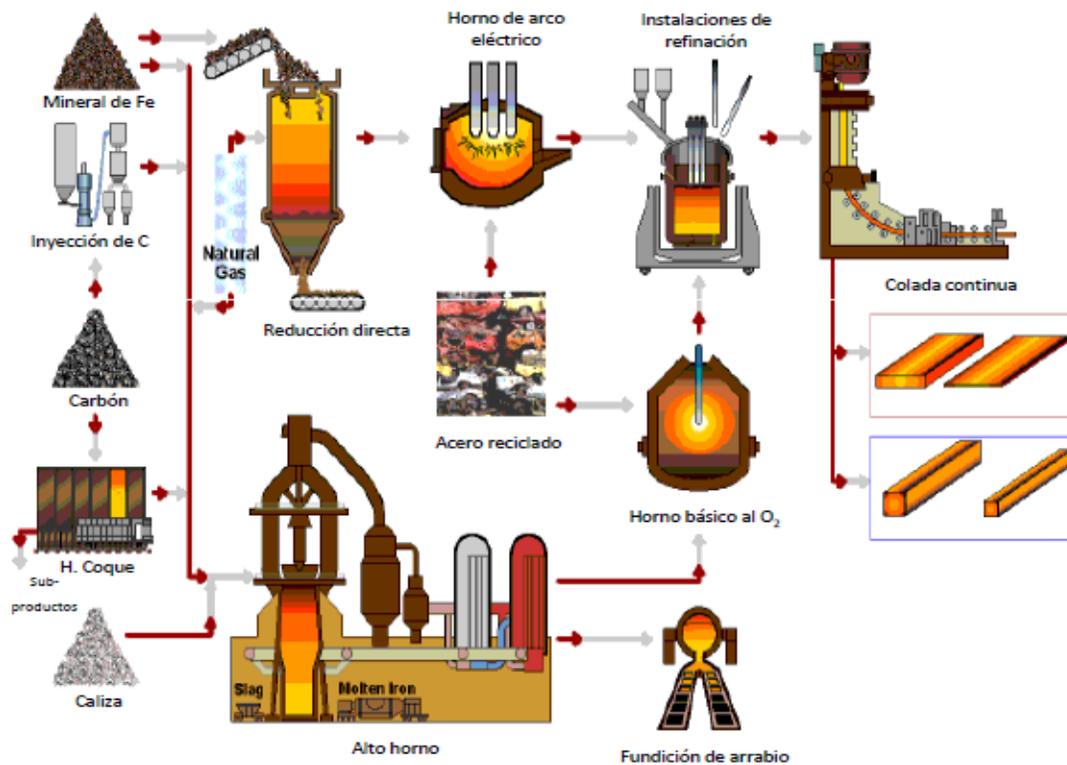
**AIRE:** Es la materia prima de mayor presencia en la producción de hierro: se ocupan aproximadamente tres y media toneladas de aire por cada tonelada de arrabio producida. El aire se emplea para mantener la combustión y para suministrar el oxígeno necesario para las reacciones químicas. Precalentado hasta 1.100°C aproximadamente se inyecta a alta presión dentro de la base del horno.

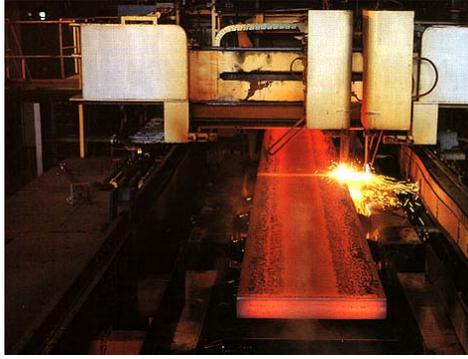
En general, se habla de una **siderurgia integrada** cuando la producción del acero se realiza a partir del mineral de hierro. En este caso, existen básicamente dos procesos diferentes: a) alto horno – convertidor de oxígeno y b) horno de reducción directa –horno eléctrico de arco.

a) **Altos Hornos:** Como se observa en el diagrama siguiente la producción se inicia cargando las materias primas (mineral de hierro, carbón coque y piedra caliza) por la parte superior del alto horno inyectando aire precalentado a aprox. 1.100°C en la base del horno, lo que quema el coque generando altísimas temperaturas que funden el mineral y liberan gases que permiten separar el hierro del mineral. La piedra caliza a esas temperaturas se convierte en cal y captura parte de las impurezas, especialmente azufre y forma una escoria que flota sobre el mineral fundido. El material resultante de este proceso se denomina arrabio y contiene aún importante proporción de carbono e impurezas que se reducen en las etapas subsiguientes.

El arrabio es transportado al horno convertidor de oxígeno donde se le adiciona una parte de material de chatarra (aprox. 25% de la carga) y, mediante una lanza enfriada por agua, se le inyecta oxígeno puro a presión, generando temperaturas de 1.650°C. En estas condiciones, el oxígeno se combina con el exceso de carbono en forma de gas y quema rápidamente otras impurezas que terminan flotando como escoria. El ajuste fino de la composición del acero se realiza en el horno cuchara (también llamada metalurgia secundaria. En esta etapa se adicionan las ferro-aleaciones de acuerdo al tipo de acero que se requiere producir.

El proceso se completa con la desgasificación removiendo los gases producidos durante el proceso (oxígeno, hidrógeno y nitrógeno), lo que se logra mediante dos procesos posibles (desgasificación por flujo o en la olla de colada). Finalmente, el acero fundido se vierte desde la olla de colada dentro de un depósito en forma de embudo desde el que fluye -a una velocidad regulada- dentro de un molde con superficie de cobre refrigerado por agua cuya forma hueca interior corresponde a la forma deseada de los llamados productos semi terminados: tochos, palanquillas y planchones. Los tochos y palanquillas son de sección cuadrada (comúnmente de 150mm por lado) y difieren en el largo en que se corta. Los planchones son de sección rectangular y varían entre 150 y 200mm de espesor por alrededor de 1.000mm de ancho. El acero, ahora sólido, se desplaza hacia una mesa de salida donde se corta al largo deseado mediante un soplete de corte. Desde allí se traslada mediante una correa transportadora hacia una planta de acabado para pasar al proceso de laminado.





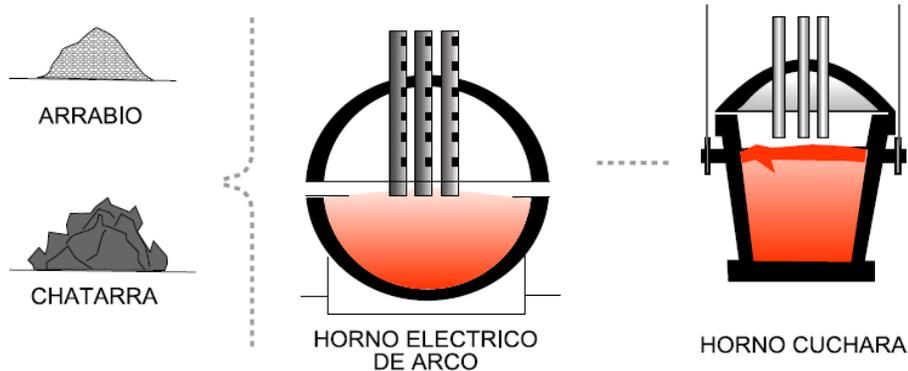
Planchones Fuente CSH



Palanquillas: fuente CSH

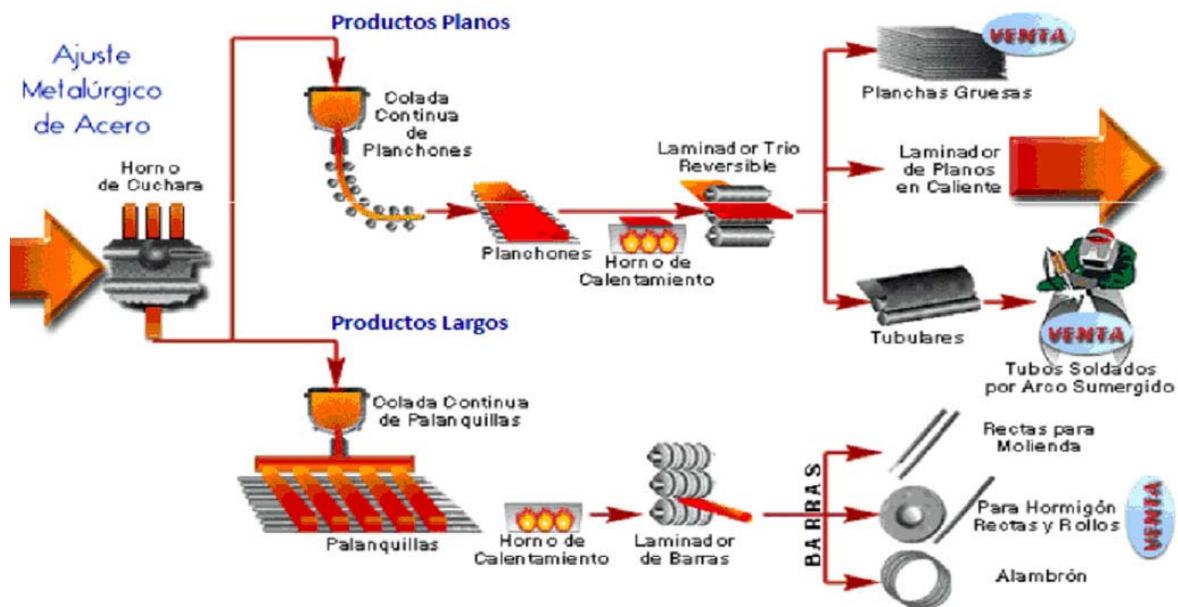
- b) **Reducción Directa:** el horno de reducción directa es alimentado por la parte superior con mineral de hierro generalmente en forma de pellets inyectándole un gas reductor rico en monóxido de carbono e hidrógeno que reacciona con el óxido de hierro removiendo el oxígeno y convirtiéndolo en hierro metálico, que puede ser producido en forma de hierro esponja o en briquetas, las que posteriormente son procesadas en el horno eléctrico al arco.

Por su parte, **las acerías**, basan su producción en hornos eléctricos que, en vez de usar el oxígeno puro como combustible para generar las altas temperaturas requeridas, funden chatarra (o proporciones de hierro de reducción directa) creando un arco eléctrico entre los electrodos y la carga metálica.



Fuente: Seminario "Constructividad en edificaciones con montaje en acero estructural"; Veliz S, Sebastián; Luis Golldsack J, (PG); Fac. Arquitectura U. de Chile; 2009.

La laminación del acero consiste en transformar los productos semi terminados reduciendo su sección hasta secciones deseadas, con el consiguiente alargamiento. En general, los tochos y palanquillas dan origen a la familia de los productos largos, en tanto los planchones dan origen a productos planos. El proceso de laminación en caliente se hace altas temperaturas y, tiene efectos no sólo sobre la dimensión de los elementos sino también sobre la estructura granular del acero, mejorando la dureza, resistencia y ductilidad. Entre otros efectos menos deseados de la laminación en caliente cabe mencionar la oxidación (casquilla de laminación) y la consecuente imperfección de las tolerancias dimensionales. La laminación en frío se hace a temperatura ambiente y otorga a las planchas y flejes un acabado liso de la superficie, alta precisión dimensional y propiedades mejoradas (aumenta la dureza y resistencia aunque reduce la ductilidad)



## TIPOS DE ACERO

Los aceros al carbono son aquellos que contienen solamente carbono y hierro con pequeñas adiciones de manganeso y otras pequeñas cantidades de elementos impuros y representan cerca del 85% del total de la producción en acero.

Los aceros de aleación contienen uno o más elementos de aleación distintos del hierro y del carbono que se agregan con el propósito de asegurar propiedades que no se obtienen mediante aceros al carbono. Algunos efectos buscados con los elementos de aleación son:

- Mayor resistencia y dureza.
- Mayor resistencia a los impactos.
- Aumento de la resistencia al desgaste.
- Aumento de la resistencia a la corrosión.
- Mejoramiento de la maquinabilidad.
- Dureza al rojo (Dureza a altas temperaturas).
- Aumento de la profundidad a la cual el acero puede ser endurecido (Penetración de temple).

Existen tres categorías de clasificación de estos aceros de aleación

**Aceros de Aleación Estructurales** que son aquellos aceros que se emplean para diversas partes de máquinas, tales como engranajes, ejes y palancas. Además se utilizan en las estructuras de edificios, construcción de chasis de automóviles, puentes, barcos y semejantes. El contenido de la aleación varía desde 0,25% a un 6%.

**Aceros de Aleación para Herramientas** que son aceros de alta calidad y se emplean en herramientas para cortar y modelar metales y no-metales.

**Aceros de Aleación Especiales** son los aceros inoxidables y aquellos con un contenido de cromo generalmente con un contenido superior al 12%. Estos aceros de gran dureza y alta resistencia a las altas temperaturas y a la corrosión, se emplean en turbinas de vapor, engranajes, ejes y rodamientos.

Los elementos de aleación más comunes y su efecto sobre las propiedades del acero son:

Aluminio	Se emplea en pequeñas cantidades actuando como desoxidante y produce un acero de grano fino.
Boro	Aumenta la templabilidad (profundidad a la que el acero puede ser endurecido)
Cromo	Aumenta la profundidad de endurecimiento y mejora resistencia al desgaste y la corrosión.
Cobre	Mejora la resistencia a la corrosión atmosférica.
Manganeso	Actúa como desoxidante y neutraliza los efectos nocivos del azufre. Facilita la laminación y moldeo. Aumenta la penetración del temple y mejora resistencia y dureza. Por sus propiedades constituye un elemento básico de todos los aceros comerciales.
Molibdeno	Mediante el aumento de la penetración del temple, mejora las propiedades del tratamiento térmico aumentando, asimismo, la dureza y resistencia a altas temperaturas.
Níquel	Mejora las propiedades del tratamiento térmico reduciendo la temperatura de endurecimiento y distorsión al ser templado. En combinación con el cromo aumenta la dureza y la resistencia al desgaste.
Silicio	Se usa como desoxidante y endurecedor.
Azufre	Aunque se considera normalmente una impureza, aplicado en cantidades importantes (hasta un 3%) aumenta la maquinabilidad de los aceros al carbono y de aleación.
Titanio	Actúa como desoxidante e inhibe el crecimiento granular. Aumenta la resistencia a altas temperaturas.
Tungsteno	Aporta gran resistencia al desgaste y dureza a altas temperaturas, por lo que se utiliza en la producción de acero para herramientas.
Vanadio	Aumenta la dureza, la resistencia a los impactos y la resistencia a la fatiga. Contribuye a la formación de granos de tamaño fino.

Las proporciones en que estos elementos participan de la aleación determinan las propiedades específicas del acero así producido.

Una mención especial se debe hacer de los **aceros inoxidables**, un producto típico del siglo XX que apareció casi simultáneamente en varios países del mundo poco antes de la Primera Guerra Mundial. Muchos estudios permitieron comprender que el alto contenido de carbono en las aleaciones de acero disminuye su resistencia a la corrosión, en tanto que un contenido de al menos un 12% de cromo otorga una resistencia a la corrosión que permite hablar de aceros inoxidables. Las innovaciones tecnológicas posteriores a la Segunda Guerra Mundial permitieron un desarrollo muy importante de la capacidad de producción y una consiguiente reducción de los costos de producción, por lo que estos aceros tuvieron una importante baja en el precio. Inicialmente utilizados en la fabricación de cuchillos, las aplicaciones de estos aceros hoy son mucho más amplias y están presentes en diversas formas y productos de la construcción.

La acción del cromo se debe a la formación de una muy delgada capa de óxido sobre la superficie del metal que es impermeable e insoluble en el medio corrosivo, lo que sucede solamente en medios oxidantes. El níquel que se agrega a estas aleaciones aumenta la resistencia en medios ligeramente oxidantes o no oxidantes y contribuye a modificar la estructura del acero dotándolo de mejores características de ductilidad, resistencia mecánica en caliente y soldabilidad. Otras adiciones como el molibdeno y el cobre, mejoran la resistencia a la corrosión por vía húmeda en tanto que el aluminio mejora la resistencia a la corrosión a altas temperaturas.

## LAMINACION

Todos los metales tienen una estructura cristalina, conformados por pequeñas partículas irregulares llamadas granos que, a su vez, están estructurados por átomos de acuerdo a un patrón tridimensional que es único. Estos granos que pueden tener diferentes formas y tamaños, están unidos entre sí y forman la masa del metal. La delgada capa de material entre los granos llamada "límite de granos", está constituida por una densa capa de átomos espaciados irregularmente y es la parte más dura y resistente del metal. Esto explica que, a menor tamaño de los granos aumenta la proporción del "límite de granos" y, consecuentemente, aumenta la dureza, resistencia y la resistencia a la corrosión. Los metales de granos más gruesos tendrán una menor dureza, pero una mayor formabilidad, ductilidad y maquinabilidad. En una condición estable y sin ser sometidos a ninguna carga, los átomos del metal están en sus posiciones normales con sus átomos asociados. En esta posición, el metal está en su condición más blanda. La deformación elástica de un metal se produce cuando las cargas a las que se le somete dejan a los átomos ligeramente fuera de su posición normal, a la que pueden volver cuando se remueve la carga. Si la carga es superior, la unión entre los átomos asociados se rompe momentáneamente y éstos se desplazan para asumir una nueva posición con otros átomos asociados. Esto es lo que se conoce como deformación plástica y sucede durante el proceso de laminación. La rotura se produce cuando ante una carga aún más fuerte, se rompen permanentemente las uniones entre los átomos en capas adyacentes y el grano se separa en dos partes.

### *Recordemos las siguientes definiciones:*

<i>Plasticidad</i>	Capacidad de deformarse permanentemente sin fractura.
<i>Ductilidad</i>	Plasticidad bajo tensión
<i>Maleabilidad</i>	Plasticidad bajo compresión

La **laminación en caliente** es un proceso de forja continua en la que los lingotes (tochos, palanquillas y planchones o las formas provenientes de la colada continua) son reducidos en caliente a un proceso de prensado por rodillos alterando su sección a las formas deseadas dentro del límite de la deformación plástica. En este proceso, los granos son severamente deformados e iniciarán el proceso de recristalizado formando nuevos granos más pequeños que se asociarán eventualmente con otros no distorsionados, por lo que el acero queda libre de tensiones internas. Las ventajas de la laminación en caliente son varias:

- Mejoramiento de la dureza, resistencia y ductilidad por la reducción del tamaño de los granos (refinamiento granular).
- Quiebre de impurezas (inclusiones) y distribución uniforme en el metal.
- Eliminación de la porosidad de lingote, desapareciendo bajo el efecto de la presión de laminación de sopladuras y bolsas de gases.

Entre las desventajas de este proceso se debe mencionar la oxidación o escamación superficial debido a las altas temperaturas a las que se realiza y la imposibilidad de mantener tolerancias debido a lo anterior.

La **laminación en frío** es un proceso que se realiza a temperatura ambiente en el que la deformación plástica se realiza bajo su temperatura de recristalización. Muchas planchas y flejes laminados en caliente se laminan posteriormente en frío para mejorar el acabado superficial permitiendo lograr una superficie lisa de alta precisión dimensional. Durante el proceso de laminación en frío no se producen recristalizaciones, por lo que la estructura granular se mantiene junto con las tensiones internas, lo que la hace más fuerte y resistente pero reduce su ductilidad. Hay una proporción entre el aumento de la dureza y la pérdida de ductilidad que es controlada por la cantidad de la deformación.

En resumen, el resultado de la laminación en frío sobre el metal se traduce en:

- Alta distorsión de la estructura granular y tensiones internas en el metal.
- Aumento de la dureza y reducción de la ductilidad.
- Acabado liso y brillante y gran precisión dimensional.

En el **estiramiento en frío**, las barras previamente laminadas en caliente, descamadas por decapado y cubiertas de cal, son estiradas a temperatura ambiente a través de una matriz de sección ligeramente más pequeña que la sección de la barra, produciendo una gran distorsión de la estructura granular y altas tensiones internas, lo que aumenta la dureza y la resistencia. Entre sus ventajas podemos mencionar:

- Acabado liso, brillante y libre de escamas abrasivas.
- Aumento de resistencia y dureza
- Mejoramiento de las tolerancias (de 0,23mm del laminado en caliente a 0,05mm para una barra de 25mm de diámetro)
- Mayor rectitud
- Aumento de la maquinabilidad.

El **recocido** es un proceso que incluye tratamientos térmicos que ablandan el metal y reducen las tensiones internas, lo que después de un enfriamiento controlado, permite lograr varios objetivos como reducir la dureza, aumentar la ductilidad y maquinabilidad o producir la micro estructura deseada. Se aplican varios procesos de recocido distintos de acuerdo al objetivo buscado. El recocido a planchas y flejes confiere una estructura sin distorsiones y de grano regular, pero lo deja demasiado blando para la mayoría de las aplicaciones, por lo que se debe aplicar un **laminado de temple** que permite otorgar la dureza especificada y mejorar la superficie hasta lograr una superficie altamente pulida. Durante este proceso la plancha reduce su espesor en proporciones variables entre un 0,5% y un 3%.

#### **Laminación de Planchones**

Las planchas delgadas y los flejes se producen a partir de los planchones, los que calentados a 1200°C pasan a un laminador continuo de flejes calientes luego del cual se le remueve la escamación abrasiva de la superficie para pasar a una serie de puestos de acabado en los que mediante el paso entre rodillos, se reduce progresivamente su espesor. Este proceso culmina en una mesa de enfriamiento por rocío de agua para luego ser enrollada como producto final conocido como plancha delgada laminada en caliente. También es posible someterlo posteriormente a un proceso de laminado en frío que da origen a la plancha delgada laminada en frío.

Uno de los productos que más aplicación tiene en la construcción, industria y transporte son las planchas gruesas que se producen, generalmente a partir de planchones, en espesores que varían entre los 6,35 y los 300mm. Este proceso se hace precalentando los planchones previamente en un horno de recalentamiento para luego someterlos a tres tipos de laminado en los laminadores de plancha gruesa por deslizamiento, el laminador de plancha gruesa universal o el laminador continuo. Si es necesario lograr propiedades especiales a las planchas se les dará un tratamiento térmico adecuado.

Otro producto común es la fabricación de planchas laminadas en caliente para tubos cuya producción es similar a la producción de flejes pero dejando los bordes ligeramente biselados y dándole el tratamiento apropiado para tolerar las severas operaciones de moldeo y soldadura. La Tubería Soldada Butt se usa con propósitos estructurales para postes y tuberías de gas, agua o desechos y su proceso de fabricación se hace a partir de planchas recalentadas a su temperatura de moldeo que son alimentadas dentro de un Laminador Moldeador Soldador, Reductor. En este proceso, una serie de rodillos moldean progresivamente la plancha hasta darle la forma de tubo para luego comprimir los bordes con una presión suficiente para prensarlos y soldarlos de tope. Posteriormente el Laminador Dimensionador la reduce al diámetro especificado, se corta al largo especificado y se enfría controladamente. La tubería soldada por Resistencia Eléctrica se hace a partir de un proceso de moldeo en frío para soldarla por resistencia eléctrica. Se emplea principalmente para transportar agua o productos petrolíferos y en aplicaciones mecánicas y/o estructurales.



### **Laminación de tochos**

Los principales perfiles estructurales son los ángulos, vigas, canaletas, columnas, barras en forma de Z, vigas en T y barras de refuerzo y generalmente se laminan a partir de tochos de acero. Al igual que en los casos anteriores, el tocho es recalentado a una temperatura uniforme para pasarlo a través de una serie de puestos de laminación que le dan progresivamente la geometría especificada. Luego de enfriarse los perfiles pasan por un enderezador rotatorio y se aserran en frío al largo deseado. La fabricación de rieles de acero sigue el mismo procedimiento de laminación en caliente que los perfiles. A partir de un tocho se pueden producir aproximadamente 37m lineales de riel, que luego se corta a un largo de 12m para su uso en los ferrocarriles.

### **Laminación de palanquillas**

La producción de barras de cualquier sección (redonda, ovalada, cuadrada, hexagonal, octogonal y los perfiles de secciones especiales o más pequeñas como canaletas y barras en U) se hace en un Laminador de Barras a partir de palanquillas siguiendo el procedimiento del laminado en caliente. Las barras de menor tamaño se enrollan mientras las de diámetro mayor se enfrían en trozos rectos para ser cortadas al tamaño requerido. Algunas se procesan posteriormente mediante dimensionamiento, torneado, esmerilado o tratamiento térmico. Debido a que en el proceso de laminación en caliente las barras no pueden laminarse a tolerancias muy precisas y a que dejarán oxidación de superficie o escamación, muchas de ellas serán estiradas en frío para lograr mejoramiento de la calidad de la superficie, mayor precisión dimensional y aumento de la resistencia a la tensión, rigidez y dureza aunque una disminución de la ductilidad. Para lograr esto la barra laminada en caliente debe estirarse pasando a temperatura normal a través de una matriz de carburo de una sección ligeramente inferior a la sección de la barra. Por efecto de la compresión a la que se somete, la estructura granular de la barra se distorsiona y se estira.



En Resumen, la elaboración de los productos semi terminados da origen a los siguientes productos terminados que son, en muchos casos, a su vez materia prima para procesos de transformación subsiguiente:

Laminado de Planchones →

Rollos Laminados en Caliente – RLC  
Planchas Laminadas en Caliente – PLC  
Rollos Laminados en Frío – RLF  
Planchas Laminadas en Frío – PLF  
Hojalata en Rollos y Láminas  
Zincalum (Aluzinc) en Rollos y Planchas



Laminado de Tochos →

Perfiles laminados en caliente y rieles

Laminado de Palanquillas →

Barras para Hormigón  
Barras para Molienda  
Alambrón

