



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

**“TRASLADO DE PALANQUILLA CALIENTE A LAMINACIÓN
PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES Y EMISIONES
DE CO₂”**

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

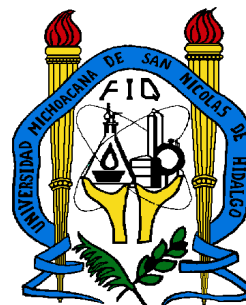
PRESENTADA POR:

ALEJANDRO VELASCO CRUZ

ASESOR:

DR. JAIME ESPINO VALENCIA

Morelia, Michoacán Junio 2012



ÍNDICE

	Página
1 INTRODUCCIÓN	3
1.1 Justificación	4
1.2 Objetivo	5
1.3 Hipótesis	5
2 GENERALIDADES O MARCO TEÓRICO	6
2.1 Efecto invernadero	6
2.2 Horno de recalentamiento	9
2.3 Tratamiento térmico	11
2.3.1 Propiedades mecánicas	11
2.3.2 Propiedades mecánicas del acero	12
2.3.3 Tratamiento térmico del acero	12
2.3.4 Tratamiento termoquímico del acero	14
2.3.5 Endurecimiento del acero	15
2.3.6 Temple y revenido: Bonificado	15
2.3.7 Recocido	16
2.4 Microestructuras de los aceros	16
2.4.1 Constituyentes metálicos	18
2.4.2 Transformación de la austenita	23
2.4.3 Otros microconstituyentes	24
2.5 Colada continua	26
2.5.1 Máquina de colada continua	28
2.5.2 Olla	30
2.5.3 Distribuidor	31
2.5.4 Molde	32
2.5.5 Sistema de enfriamiento	33
2.5.6 Unidades de corte	33
2.5.7 Mecanismo de transferencia	34
3 DESARROLLO DEL TRABAJO (METODOLOGÍA)	35
3.1 Antecedentes	35
3.2 El proyecto	36
3.3 Modificaciones al proceso original	36
4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
6 BIBLIOGRAFÍA	42
7 ANEXOS	44

1.INTRODUCCIÓN

Egresado en 1990 inicie mi actividad laboral en la Siderúrgica Lázaro Cárdenas las Truchas (SICARTSA) segunda etapa, en el proceso HYL III, participando en la producción de hierro esponja como supervisor de equipo térmico.

Lo anterior involucra supervisar la operación del reformador de gas natural, calentadores de gas, turbobombas, sopladores, compresores y enfriadores de gas principalmente.

En 1997 ingrese a la empresa HYLSA con el puesto de asesor técnico del proceso HYL III; mi labor fue participar en los arranques de planta y en el cumplimiento de las pruebas de garantía en siderúrgicas ubicadas en las Ciudades de Monterrey México, Lebedinski Rusia y Puerto Ordaz Venezuela, todo esto en el transcurso de 5 años.

Las actividades principales consistían en el comisionamiento paso a paso de la operación de cada equipo, válvulas, instrumentación, el barrido de líneas, pruebas de hermeticidad y operación total de la planta; a esto le sumamos la capacitación del personal técnico que laboraría en esas empresas.

En el año 2001 ingrese a SICARTSA (primera etapa) al proceso de aceración dentro del taller de colada continua, donde la producción de palanquilla de diferentes aceros, el control de calidad y su distribución a los laminadores o al puerto para su exportación ha sido mi labor mas reciente.

La sustentabilidad de los procesos es sin duda un rubro muy importante para definir su viabilidad y la implementación de los mismos, por lo que la reducción en la emisión de gases de combustión, el ahorro de energía y la seguridad de los operarios son factores que motivan el desarrollo de mejoramiento a los procesos y aplicación de la reingeniería.

De lo anteriormente descrito retomo un proyecto interesante ya en funciones, donde tuve la oportunidad de participar y que será el tema principal de este trabajo, “TRASLADO DE PALANQUILLA CALIENTE A LAMINACIÓN”.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Reducir el volumen de combustible utilizado para el recalentamiento de la palanquilla y por ende las emisiones de CO₂ a la atmósfera, son entre otras las causas principales en la implementación de esta modificación al proceso existente de envío de materia prima a los laminadores.

Las emisiones de CO₂ tienen dos orígenes, naturales y antropogénicas, teniendo estas últimas un fuerte crecimiento en las últimas décadas. El promedio actual de CO₂ en el aire oscila alrededor de 380 ppm; o 0.038%, con algunas variaciones día-noche, estacionales y con picos de contaminación localizados.

Con grandes variaciones, el incremento anual en la concentración de CO₂ en la atmósfera ha pasado de 0.5 ppm en 1960 a 2 ppm en el año 2000, con un mínimo de 0.43 en 1992 y un máximo de 3 ppm en 1998; desde el año 2000, la tasa anual apenas ha cambiado.

En la medida de que el CO₂ es consumido por las plantas, también es remplazado por medio de la respiración de los seres vivos, por la descomposición de la materia orgánica y como producto final de combustión del petróleo, hulla, gasolina, etc.

Las emisiones antropogénicas mundiales están aumentando cada año, en 2007 las emisiones de CO₂ fueron 2 veces mayores que en 1971. De 1990 en adelante fueron emitidas 20.878 Gt/año de CO₂ y una nueva evaluación en el 2005 nos arroja una emisión de 26.402 Gt/año a partir de esa fecha en adelante. Un gigatón es el equivalente en el SI a 1.000.000.000 de toneladas en su formato totalmente expandido.

Mediante un balance de masa y considerando la densidad de la gasolina en 0.680 Kg/Lt y la del combustóleo en 0.982 Kg/Lt, tenemos que la combustión completa de un litro de gasolina genera 2.1 kg de CO₂ y de un litro de combustóleo 3 kg de CO₂; sin duda el consumo excesivo de combustibles fósiles en automóviles y procesos industriales contribuye de manera importante en el incremento de la concentración de este componente de la atmósfera.



1.2OBJETIVO

Trasladar palanquilla caliente a los laminadores, con una temperatura promedio de 450°C, para reducir con esto los tiempos de residencia del material en los hornos de recalentamiento.

1.3HIPOTESIS

Se enviará palanquilla desde el taller de colada continua a los laminadores, con una temperatura promedio de 450°C; la pérdida de temperatura en su transportación se estima sea de 100 grados. Lo anterior permitirá que la palanquilla llegue caliente a los hornos de laminación, disminuyendo en forma importante el consumo de combustible y por consiguiente se reducirán las emisiones de CO₂ a la atmósfera, mejorando con esto la sustentabilidad del proceso.

Para realizar esta tarea de traslado se deberán modificar las plataformas de carga y los procedimientos de trabajo tanto para operarios como para la supervisión.

2. GENERALIDADES O MARCO TEÓRICO

2.1 EFECTO INVERNADERO

De la *“Revista digital universitaria de día 10 de octubre 2007 • Volumen 8 Número 10 • ISSN: 1067-6079 (UNAM)”* retomamos que la atmósfera terrestre, es una delgada capa de gases que rodea a nuestro planeta (Fig. 1), para darnos una idea de las escalas, la atmósfera equivale a envolver con papel aluminio un balón de futbol, el balón representando la Tierra y el grosor del papel aluminio al de la atmósfera.

Esta delgada capa de gases que rodea al planeta, es muy importante dado que en ella residen los gases que son fundamentales para el desarrollo de la mayor parte de la vida.

La composición química de la atmósfera incluye mayoritariamente a solo dos gases, Nitrógeno (N), en un 79% y Oxígeno (O₂) en un 20%. El 1% restante esta formado por diversos gases entre los que los más abundantes son el Argón (Ar) en un 0.9% y el dióxido de carbono (CO₂) en aproximadamente un 0.03%.

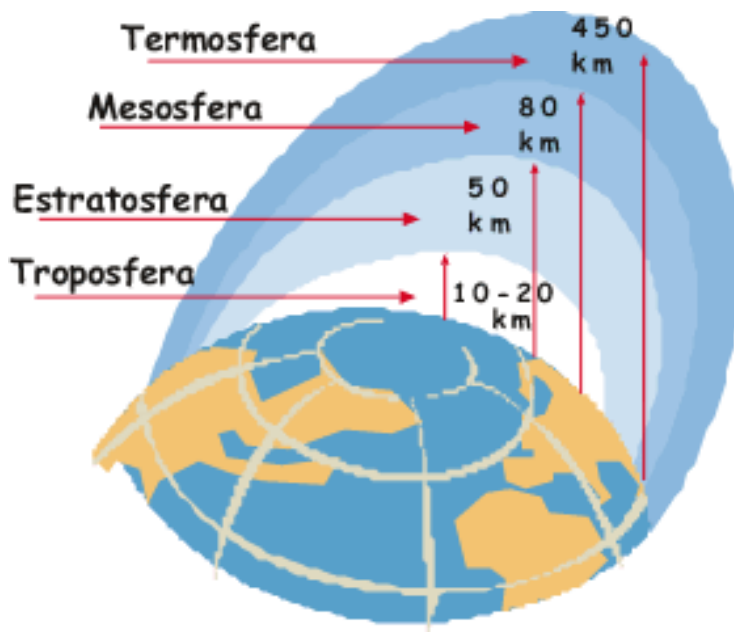
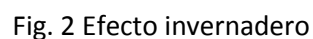


Fig. 1 Componentes de la atmósfera

Como resultado de esta absorción, la atmósfera también irradia calor en todas las direcciones, incluyendo hacia abajo a la superficie terrestre. Los gases de efecto invernadero, por tanto, atrapan el calor dentro del sistema superficie-troposfera.



En ausencia del efecto invernadero y de una atmósfera gaseosa, la Tierra cuya temperatura media superficial es de 14°C (57°F) podría ser tan baja como -18°C (-0.4°F).

El ozono situado en la troposfera (capa de la atmósfera situada sobre la superficie de la Tierra, hasta una distancia de unos 10 Km) es lo que se denomina ozono troposférico.

Este ozono, a causa de la acción del hombre, puede encontrarse en concentraciones superiores a las naturales, actuando entonces como un contaminante atmosférico por sus efectos nocivos sobre el medio.

El incremento de la emisión de gases de invernadero a la atmósfera (Fig. 3) generará por consiguiente un aumento mayor de la temperatura de entre 1.4 y 5.8 grados centígrados, de acuerdo a las recomendaciones de la Cumbre de Río del 11 de junio de 1992 posteriormente ratificadas en el Protocolo de Kyoto sobre el control de estas emisiones.



Fig. 3 Emisión de gases

2.2 HORNO DE RECALENTAMIENTO

Con referencia en el “*Manual de operación del horno de recalentamiento del molino de barras (año 2008)*”, observamos en la Fig.4 un horno de recalentamiento que eleva la temperatura de las palanquillas antes del proceso de laminación. Está constituido por mecheros alimentados habitualmente de gas, diesel o combustóleo.



Fig. 4 Horno de recalentamiento de placas galopantes

Horno de Recalentamiento Marca: SALEM

Tipo: Vigas Caminantes

Capacidad: Nominal 150 Ton/h; Máxima 170 Ton/h

Peso de la palanquilla: 1628 Kg

Longitud de palanquilla: 13 m.

Temperatura Máxima de Operación: 1300°C

Combustibles: Combustóleo 9800 Kcal/Kg (2.8% de Azufre) y Gas Coque 4200 Kcal/Nm³

El traslado de palanquilla dentro del horno es habitualmente con vigas galopantes accionados por un sistema hidráulico.

Son hornos de paso continuo eficientes para el precalentamiento de palanquilla a altas temperaturas.

El movimiento alternativo de elevación, avance, descenso y retorno de vigas de material refractario dispuestas en ranuras de la solera del horno hace avanzar las cargas a lo largo de su interior.

Existen distintos dispositivos de entrada y salida de las piezas en el horno para su integración en las líneas de producción. El tiempo de permanencia de las piezas en el interior de la cámara se regula en función de la frecuencia de accionamiento de las vigas. El horno puede vaciarse a voluntad.

Están provistos de un recuperador de calor, por sistema tubular, en donde se calienta el aire que retorna a los mecheros para mezclarse con el gas, aprovechando el paso de los humos del quemado, por entre los haces tubulares.

Las dimensiones medias de un horno pueden ser para una capacidad de 150 t/h, de 20 m de longitud útil interior, por un ancho de 16 metros.

El proceso del mismo es automático, controlando los ciclos de calentamiento, lo que permite garantizar la eliminación de la carburación y una gran uniformidad en las temperaturas de laminación del material.

La descarga de las palanquillas hacía el camino de rodillos antes de las cajas de laminación se hace mediante una máquina extractora, por un accionamiento hidráulico que se observa en la Fig.5.

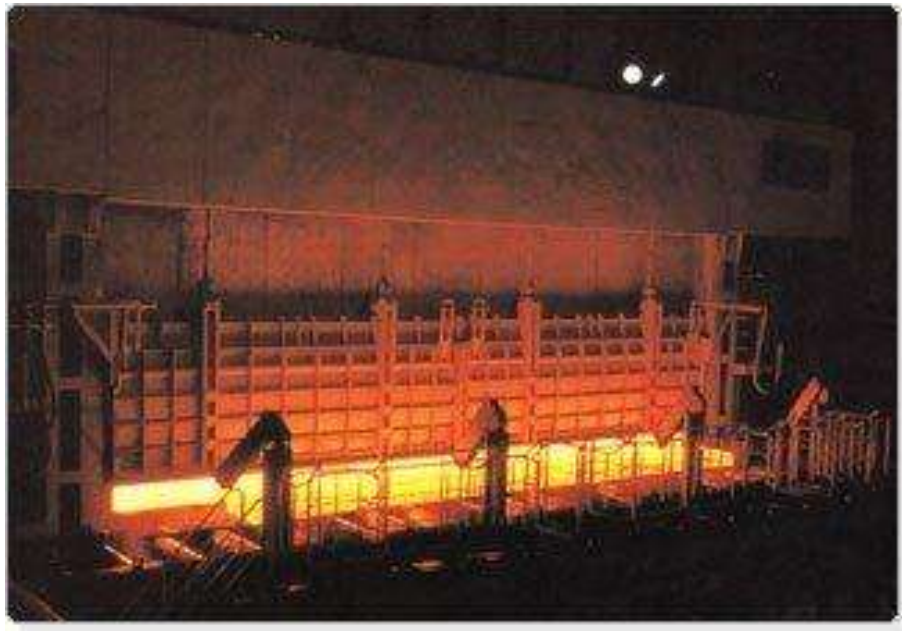


Fig. 5Salida de palanquillas del horno de recalentamiento

2.3 TRATAMIENTO TÉRMICO

El trabajo desarrollado por José Apraiz Barreiro en su libro *“Tratamientos Térmicos de los Aceros”*, describe como tratamiento térmico el proceso que comprende el calentamiento de los metales o las aleaciones en estado sólido a temperaturas definidas (Fig. 6), manteniéndolas a esa temperatura por suficiente tiempo, seguido de un enfriamiento a las velocidades adecuadas con el fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la elasticidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono. También se aplican tratamientos térmicos diversos a los sólidos cerámicos.



Fig. 6 Horno de recalentamiento (intermitente)

2.3.1 Propiedades mecánicas

Las características mecánicas de un material dependen tanto de su composición química como de la estructura cristalina que tenga. ***Los tratamientos térmicos modifican esa estructura cristalina sin alterar la composición química***, dando a los materiales unas características mecánicas concretas, mediante un proceso de calentamientos y enfriamientos sucesivos hasta conseguir la estructura cristalina deseada.

Entre estas características son:

- **Resistencia al desgaste:** Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.
- **Tenacidad:** Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto).
- **Maquinabilidad:** Es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de maquinado por arranque de viruta.
- **Dureza:** Es la resistencia que ofrece un material para dejarse penetrar o a ser rayado.

2.3.2 Propiedades mecánicas del acero

El acero es una aleación de hierro y carbono que contiene otros elementos de aleación, los cuales le confieren propiedades mecánicas específicas para su utilización en la industria metalmeccánica.

Además del carbón, otros elementos de aleación importantes son el cromo, tungsteno, manganeso, níquel, vanadio, cobalto, molibdeno, cobre, azufre y fósforo. A estos elementos químicos que forman parte del acero se les llama componentes, y a las distintas estructuras cristalinas o combinación de ellas constituyentes.

Los elementos constituyentes, según su porcentaje, ofrecen características específicas para determinadas aplicaciones, como herramientas, cuchillas, soportes, etcétera. La diferencia entre los diversos aceros, tal como se ha dicho depende tanto de la composición química de la aleación de los mismos, como del tipo de tratamiento térmico.

2.3.3 Tratamiento térmico del acero

Las propiedades mecánicas de las aleaciones de un mismo metal, y en particular de los aceros reside en la composición química de la aleación que los compone y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete.

Esta propiedad de tener diferentes estructuras de grano con la misma composición química se llama **polimorfismo** y es la que justifica los térmicos. Técnicamente el poliformismo es la capacidad de algunos materiales de presentar distintas estructuras cristalinas, con una única composición química, el diamante y el grafito son polimorfismos del carbono. La α -ferrita, la austenita y la δ -ferrita son polimorfismos del hierro. Esta propiedad en un elemento químico puro se denomina **alotropía**.

Por lo tanto las diferentes estructuras de grano pueden ser modificadas, obteniendo así aceros con nuevas propiedades mecánicas, pero siempre manteniendo la composición química. Estas propiedades varían de acuerdo al tratamiento que se le de al acero dependiendo de la temperatura hasta la cual se le caliente y de como se enfría el mismo.

La forma que tendrá el grano y los microconstituyentes que compondrán al acero, sabiendo la composición química del mismo (esto es porcentaje de Carbono y Hierro) y la temperatura a la que se encuentra, se puede ver en el **diagrama hierro-carbono**.

El tratamiento térmico en el material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales está creado. Este tipo de procesos consisten en el calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas.

Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, tanto en los aceros como en las aleaciones no férricas, y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con tiempos bien establecidos.

Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal y recibir un tratamiento térmico, es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el de hierro-carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos.

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión. Los principales tratamientos térmicos son:

- **Temple:** Su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior (entre 900-950 °C) y se enfría luego más o menos rápidamente (según características de la pieza) en un medio como agua, aceite, etcétera.
- **Revenido:** Sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad.

El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.

- **Recocido:** Consiste en un calentamiento hasta temperatura de austenitización (800-925 °C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogenizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.
- **Normalizado:** Tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

2.3.4 Tratamiento termoquímico del acero

Los tratamientos termoquímicos son tratamientos térmicos en los que, además de los cambios en la estructura del acero, también se producen cambios en la composición química de la superficie del metal, añadiendo diferentes productos químicos hasta una profundidad determinada. Estos tratamientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento controlados en atmósferas especiales.

Entre los objetivos más comunes de estos tratamientos están aumentar la dureza superficial de las piezas dejando el núcleo más blando y tenaz, disminuir el rozamiento aumentando el poder lubricante, aumentar la resistencia al desgaste, aumentar la resistencia a fatiga o aumentar la resistencia a la corrosión.

- **Cementación (C):** aumenta la dureza superficial de una pieza de acero dulce, aumentando la concentración de carbono en la superficie. Se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. El tratamiento logra aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.
- **Nitruración (N):** al igual que la cementación, aumenta la dureza superficial, aunque lo hace en mayor medida, incorporando nitrógeno en la composición de la superficie de la pieza. Se logra calentando el acero a temperaturas comprendidas entre 400 y 525 °C, dentro de una corriente de gas amoníaco, más nitrógeno.
- **Cianuración (C+N):** endurecimiento superficial de pequeñas piezas de acero. Se utilizan baños con cianuro, carbonato y cianato sódico. Se aplican temperaturas entre 760 y 950 °C.
- **Carbonitruración (C+N):** al igual que la cianuración, introduce carbono y nitrógeno en una capa superficial, pero con hidrocarburos como metano, etano o propano; amoníaco (NH₃) y monóxido de carbono (CO). En el proceso se requieren temperaturas de 650 a 850 °C y es necesario realizar un temple y un revenido posterior.
- **Sulfinización (S+N+C):** aumenta la resistencia al desgaste por acción del azufre. El azufre se incorporó al metal por calentamiento a baja temperatura (565 °C) en un baño de sales.

El proceso de ***“Endurecimiento, revenido y tratamiento térmico es tratado en el libro de TUBAL CAIN”***, y de ahí se toma referencia en los siguientes párrafos.

2.3.5 Endurecimiento del acero

Consiste en el calentamiento del metal de manera uniforme a la temperatura correcta y luego enfriarlo con agua, aceite, aire o en una cámara refrigerada. El endurecimiento produce una estructura granular fina que aumenta la resistencia a la tracción (tensión) y disminuye la ductilidad.

El acero al carbono para herramientas se puede endurecer al calentarse hasta su temperatura crítica, la cual se adquiere aproximadamente entre los 790 y 830 °C, lo cual se identifica cuando el metal adquiere el color rojo cereza brillante.

Cuando se calienta el acero la perlita se combina con la ferrita, lo que produce una estructura de grano fino llamada austenita. Cuando se enfría la austenita de manera brusca con agua, aceite o aire, se transforma en martensita, material que es muy duro y frágil.

2.3.6 Temple y revenido: bonificado

Después que se ha endurecido el acero es muy quebradizo o frágil lo que impide su manejo pues se rompe con el mínimo golpe debido a la tensión interior generada por éste proceso. Para contrarrestar la fragilidad se recomienda el temple del acero, como se observa en la tabla 1 (en algunos textos a este proceso se le llama revenido y al endurecido temple). Este proceso hace más tenaz y menos quebradizo el acero aunque pierde algo de dureza.

El proceso consiste en limpiar la pieza con un abrasivo para luego calentarla hasta la temperatura adecuada (ver tabla 1), para después enfriarla al intemperie en el mismo medio que se utilizó para endurecerla.

Tabla 1 Tabla de temperaturas para revenido de acero endurecido

Color	Grados C	Tipos de aceros
Paja claro	220	Herramientas como brocas, machuelos
Paja mediano	240	Punzones dados y fresas
Paja oscuro	255	Cizallas y martillos
Morado	270	Árboles y cinceles para madera
Azul oscuro	300	Cuchillos y cinceles para acero
Azul claro	320	Destornilladores y resortes

2.3.7 Recocido

El recocido es el tratamiento térmico que, en general, tiene como finalidad principal el ablandar el acero u otros metales, regenerar la estructura de aceros sobrecalentados o simplemente eliminar las tensiones internas que siguen a un trabajo en frío (enfriamiento en el horno).

Con referencia en la fig. 7, en el **recocido de homogeneización**, propio de los aceros hipoeutectoides, la temperatura de calentamiento es la correspondiente a $A_3+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin llegar en ningún caso a la curva de sólidos, realizándose en el propio horno el posterior enfriamiento lento, siendo su objetivo principal eliminar las heterogeneidades producidas durante la solidificación.

El **recocido de regeneración también llamado normalizado**, tiene como función regenerar la estructura del material producido por temple o forja. Se aplica generalmente a los aceros con más del 0.6% de C, mientras que a los aceros con menor porcentaje de C sólo se les aplica para afinar y ordenar su estructura.

2.4 MICROESTRUCTURAS DE LOS ACEROS

En las diferentes etapas que se presentan durante el proceso de producción, enfriamiento y recalentamiento del acero, se llevan a cabo diferentes cambios de temperatura y estructurales; estos ocurren como a continuación se menciona:

En el diagrama de equilibrio de la fig. 7, se representan las transformaciones que sufren los aceros al carbono con la temperatura, **admitiendo que en el proceso de producción de planchillas el calentamiento o enfriamiento de las mismas se realiza muy lentamente de modo que los procesos de difusión (homogeneización) tienen tiempo para completarse.**

El hierro puro está presente en tres estados alotrópicos a medida que se incrementa la temperatura desde la temperatura ambiente:

- Hasta los $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura crítica A_3), el hierro ordinario, cristaliza en el sistema cúbico centrado en el cuerpo y recibe la denominación de hierro α o ferrita. Es un material dúctil y maleable responsable de la buena forjabilidad de las aleaciones con bajo contenido en carbono y es ferromagnético hasta los $770\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura de Curie a la que pierde dicha cualidad; se suele llamar también A_2). La ferrita puede disolver pequeñas cantidades de carbono.
- Entre 911 y $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras y recibe la denominación de hierro γ o austenita. Dada su mayor compactidad la austenita se deforma con mayor facilidad y es paramagnética.

- Entre 1400 y 1538 °C cristaliza de nuevo en el sistema cúbico centrado en el cuerpo y recibe la denominación de hierro δ que es en esencia el mismo hierro alfa pero con parámetro de red mayor por efecto de la temperatura.

Si se añade carbono al hierro aumenta su grado de macicez y sus átomos podrían situarse simplemente en los intersticios de la red cristalina de éste último; sin embargo en los aceros aparece combinado formando carburo de hierro (Fe_3C), es decir, un compuesto químico definido y que recibe la denominación de cementita de modo que los aceros usados al carbono están constituidos realmente por ferrita y cementita. El diagrama de fases Fe-C muestra dos composiciones singulares:

Zona de los aceros (hasta 2% de carbono) del diagrama de equilibrio metaestable hierro-carbono.

El carburo de hierro, dado que en los aceros el carbono se encuentra formando carburo de hierro, se han incluido en abscisas las escalas de los porcentajes en peso de carbono y de carburo de hierro.

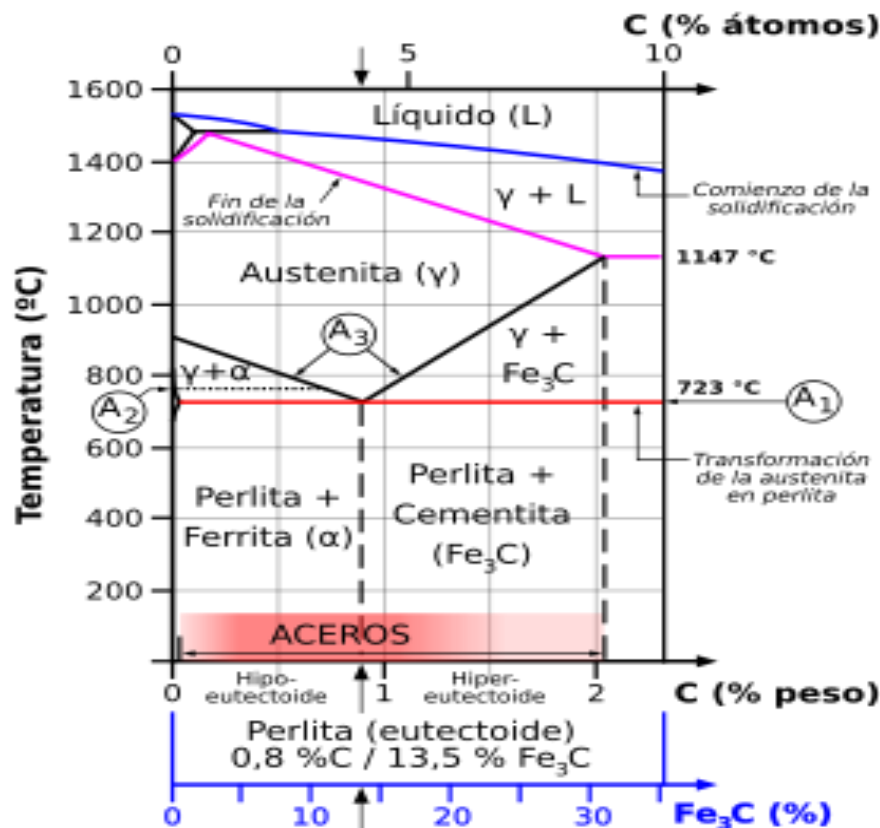


Fig. 7 Diagrama de fases hierro – Carbón

Las aleaciones de hierro y carbono (aceros y fundiciones) son las aleaciones metálicas más importantes de la civilización actual. Por su volumen, la producción de fundición y de acero supera en más de diez veces la producción de todos los demás metales juntos.

El hierro forma soluciones con muchos elementos: con los metales, soluciones por sustitución, con el carbono, nitrógeno e hidrógeno, soluciones por inserción.

La solubilidad del carbono en el hierro depende de la forma cristalográfica en que se encuentra el hierro. La solubilidad del carbono en el hierro cúbico centrado en el cuerpo (ferrita) es menor que el 0.02% y en el hierro cúbico centrado en las caras (austenita) es hasta el 2%.

Se distinguen tres grupos de aceros al carbono: eutectoides, que contienen cerca de un 0.8% de C, cuya estructura está constituida únicamente por perlita: **Hipoeutectoides, que contienen menos del 0.8% de C, con estructura formada por ferrita y perlita**; e Hipereutectoides, que contienen del 0.8 al 2% de C y cuya estructura consta de perlita y cementita.

2.4.1 Constituyentes metálicos

Los constituyentes metálicos que pueden presentarse en los aceros al carbono son: ferrita, cementita, perlita, sorbita, troostita, martensita, bainita, y rara vez austenita, aunque nunca como único constituyente. También pueden estar presentes constituyentes no metálicos como óxidos, silicatos, sulfuros y aluminatos.

FERRITA (Hierro alfa)

Es una solución sólida de carbono en hierro alfa (Fig. 8), su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por esto se considera como hierro puro, la máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa es de 0,02% a 723 °C.

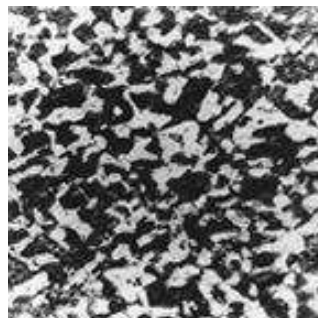


Fig. 8 Cristales blancos de ferrita

En los aceros, la ferrita puede aparecer como cristales mezclados con los de perlita, en los aceros de menos de 0.6%C, forman una red o malla que limita los granos de perlita, en los aceros de 0.6 a 0.85%C se encuentra en forma de agujas o bandas circulares orientados en la dirección de los planos cristalográficos de la austenita como en los aceros en bruto de colada o en aceros que han sido sobrecalentados. Este tipo de estructura se denomina Widmanstatten.

La ferrita es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cúbica centrada en el cuerpo, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la tracción de 28 kg/mm², llegando hasta un alargamiento del 40%. La ferrita se observa al microscopio como granos poligonales claros.

La ferrita también aparece como elemento eutectoide de la perlita formando láminas paralelas separadas por otras láminas de cementita, en la estructura globular de los aceros de herramientas aparece formando la matriz que rodea los glóbulos de cementita, en los aceros hipoeutectoides templados, puede aparecer mezclada con la martensita cuando el temple no ha sido bien efectuado.

CEMENTITA

Es el carburo de hierro (Fig.9) de fórmula Fe_3C , contiene 6.67 %C y 93.33 % de hierro, es el microconstituyente más duro y frágil de los aceros al carbono, alcanzando una dureza Brinell de 700 (68 Rc) y cristaliza en la red ortorrómbica.

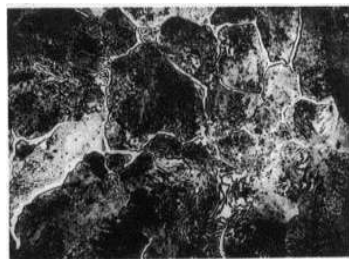


Fig. 9 Red blanca de cementita

En las probetas atacadas con ácidos se observa de un blanco brillante y aparece como cementita primaria o proeutéctica, en los aceros con más de 0.9%C forma una red que envuelve los granos de perlita, también aparece formando parte de la perlita como láminas paralelas separadas por otras láminas de ferrita, se presenta en forma de glóbulos o granos dispersos en una matriz de ferrita.

PERLITA

Como se aprecia en la Fig. 10, la perlita es el microconstituyente eutectoide formado por capas alternadas de ferrita y cementita, compuesta por el 88 % de ferrita y 12 % de cementita, contiene el 0.8 %C,. Tiene una dureza de 250 Brinell, resistencia a la tracción de 80 kg/mm² y un alargamiento del 15%; el nombre de perlita se debe a las irisaciones que adquiere al iluminarla, parecidas a las perlas. La perlita aparece en general en el enfriamiento lento de la austenita y por la transformación isotérmica de la austenita en el rango de 650 a 723°C.

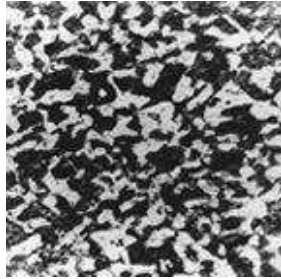


Fig. 10 Cristales oscuros de perlita

Si el enfriamiento es rápido, la estructura es poco definida y se denomina Sorbita, si la perlita laminar se somete a un recocido a temperatura próxima a 723°C, la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, denominándose perlita globular.

AUSTENITA

Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma. La cantidad de carbono disuelto, varía de 0.06 al 2 % C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita no es estable a la temperatura ambiente pero existen algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos cuya estructura es austenita a temperatura ambiente.

La austenita (Fig. 11) está formada por cristales cúbicos centrados en las caras, con una dureza de 300 Brinell, una resistencia a la tracción de 100 kg/mm² y un alargamiento del 30 %, no es magnética.

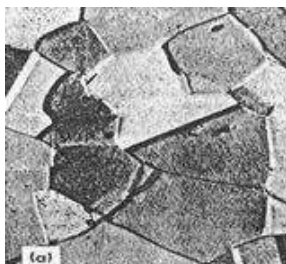


Fig. 11 Microestructura de la austenita

La austenita se disuelve con agua regia en glicerina apareciendo como granos poligonales frecuentemente maclados, puede aparecer junto con la martensita en los aceros templados.

MARTENSITA

Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas, su estructura se observa en la Fig. 12.

El contenido de carbono suele variar desde muy poco carbono hasta el 1% de carbono, sus propiedades físicas varían con su contenido en carbono hasta un máximo de 0.7 %C.



Fig. 12 Microestructura de la martensita

La martensita tiene una dureza de 50 a 68 Rc, resistencia a la tracción de 170 a 250 kg/mm² y un alargamiento del 0.5 al 2.5 %, muy frágil y presenta un aspecto acicular formando grupos en zigzag con ángulos de 60 grados.

Los aceros templados suelen quedar demasiado duros y frágiles, inconveniente que se corrige por medio del revenido que consiste en calentar el acero a una temperatura inferior a la crítica inferior (727°C), dependiendo de la dureza que se desee obtener, enfriándolo luego al aire o en cualquier medio.

TROOSTITA

Es un agregado muy fino de cementita y ferrita, se produce por un enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento ligeramente inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en el rango de temperatura de 500 a 600°C, o por revenido a 400°C.

Sus propiedades físicas son intermedias entre la martensita y la sorbita, tiene una dureza de 400 a 500 Brinell, una resistencia a la tracción de 140 a 175 kg/mm² y un alargamiento del 5 al 10%. Es un constituyente nodular oscuro con estructura radial apreciable a unos 1000X y aparece generalmente acompañando a la martensita y a la austenita.

SORBITA

Es también un agregado fino de cementita y ferrita. Se obtiene por enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento bastante inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en la zona de 600 a 650°C, o por revenido a la temperatura de 600°C. Su dureza es de 250 a 400 Brinell, su resistencia a la tracción es de 88 a 140 kg/mm² con un alargamiento del 10 al 20%.

Con pocos aumentos aparece en forma muy difusa como manchas, pero con 1000X toma la forma de nódulos blancos muy finos sobre fondo oscuro, de hecho tanto la troostita como la sorbita pueden considerarse como perlita de grano muy fino.

BAINITA

Es el constituyente que se obtiene en la transformación isotérmica de la austenita cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250 a 500°C. Se diferencian dos tipos de estructuras: la bainita superior de aspecto arborescente formada a 500-580°C, compuesta por una matriz ferrítica conteniendo carburos.

Bainita inferior, formada a 250-400°C tiene un aspecto acicular similar a la martensita y constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos.

La bainita tiene una dureza variable de 40 a 60 Rc comprendida entre las correspondientes a la perlita y a la martensita.

Los constituyentes que pueden presentarse en los aceros aleados son los mismos de los aceros al carbono, aunque la austenita puede ser único constituyente y además pueden aparecer otros carburos simples y dobles o complejos.

La determinación del tamaño de grano austenítico o ferrítico, puede hacerse por la norma ASTM o por comparación de la microfotografías de la probeta a 100X (Fig. 13), con las retículas patrón numeradas desde el 1 para el grano más grueso hasta el 8 para el grano más fino.

En el sistema ASTM el grosor del grano austenítico se indica con un número convencional n, de acuerdo con la fórmula:

$$\text{Log}G = (n-1) \text{Log}2$$

Donde G es el número de granos por pulgada cuadrada sobre una imagen obtenida a 100 aumentos; este método se aplica a metales que han recristalizado completamente, n es el número de tamaño de grano de uno a ocho.

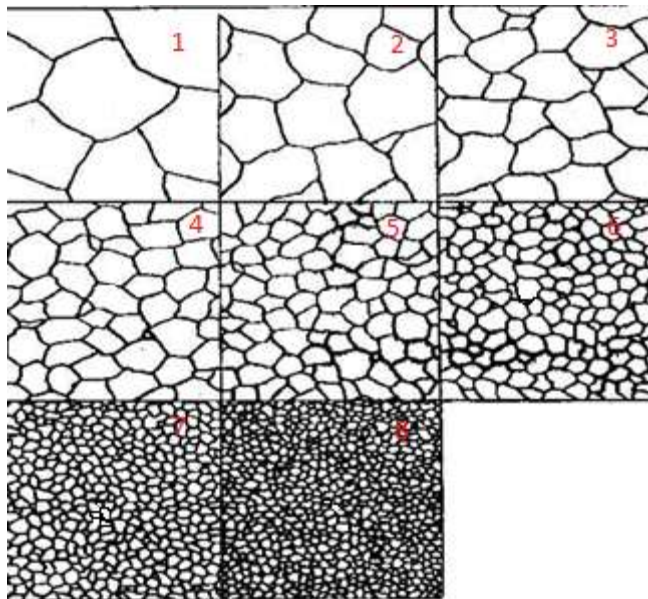


Fig. 13 Forma, tamaño y distribución de los cristales o granos

2.4.2 Transformación de la austenita

- Un acero eutéctico (composición para la cual el punto de fusión es mínimo) que se denomina ledeburita, contiene un 4,3% de carbono (64,5 % de cementita). La ledeburita aparece entre los constituyentes de la aleación cuando el contenido en carbono supera el 2% (región del diagrama no mostrada) y es la responsable de la mala forjabilidad de la aleación marcando la frontera entre los aceros con menos del 2% de C (forjables) y las fundiciones con porcentajes de carbono superiores (no forjables y fabricadas por moldeo). De este modo se observa que por encima de la temperatura crítica A_3 ¹ los aceros están constituidos sólo por austenita, una solución sólida de carbono en hierro y su microestructura en condiciones de enfriamiento lento dependerá por tanto de las transformaciones que sufra ésta.

- Un eutectoide esta en la zona de los aceros, contiene un máximo de 0.80 %C (13.5% de cementita) y se denomina perlita. Está constituido por capas alternas de ferrita y cementita, siendo sus propiedades mecánicas intermedias entre las de la ferrita y la cementita.

La existencia del eutectoide permite distinguir dos tipos de aleaciones de acero:

- **Aceros hipoeutectoides** < 0.80% C. Al enfriarse por debajo de los 911°C, comienza a precipitar la ferrita entre los granos de austenita, y al alcanzar la temperatura de 723 °C, la austenita restante se transforma en perlita. Se obtiene por tanto a temperatura ambiente una estructura de cristales de perlita embebidos en una matriz de ferrita.
- Aceros hipereutectoides (> 0.80% C). Al enfriarse por debajo de los 911°C, se precipita el carburo de hierro resultando a temperatura ambiente cristales de perlita embebidos en una matriz de cementita.

2.4.3 Otros microconstituyentes

Las texturas básicas descritas (perlíticas) son las obtenidas enfriando lentamente aceros al carbono, sin embargo modificando las condiciones de enfriamiento (base de los tratamientos térmicos) es posible obtener estructuras cristalinas diferentes:

La martensita es el constituyente típico de los aceros templados y se obtiene de forma casi instantánea al enfriar rápidamente la austenita. Es una solución sobresaturada de carbono en hierro alfa con tendencia, cuanto mayor es el carbono, a la sustitución de la estructura cúbica centrada en el cuerpo por tetragonal centrada en el cuerpo. Tras la cementita (y los carburos de otros metales) es el constituyente más duro de los aceros.

Velocidades intermedias de enfriamiento dan lugar a la bainita, estructura similar a la perlita formada por agujas de ferrita y cementita pero de mayor ductilidad y resistencia que aquella.

También se puede obtener austenita por enfriamiento rápido de aleaciones con elementos gammágenos (que favorecen la estabilidad del hierro γ) como el níquel y el manganeso, tal es el caso por ejemplo de los aceros inoxidables austeníticos.

En la Fig. 14 se observan los aceros producidos en Arcelor-Mittal hasta la fecha, contienen un máximo de 0.78% de carbón (hipoeutectoides), y las temperaturas de la palanquilla van desde los 1250 °C a la salida del molde, hasta la temperatura ambiente en las estibas de almacenamiento. Este proceso lo recorren las palanquillas de manera inversa en los hornos de recalentamiento para ser introducidas luego en los molinos de laminación.

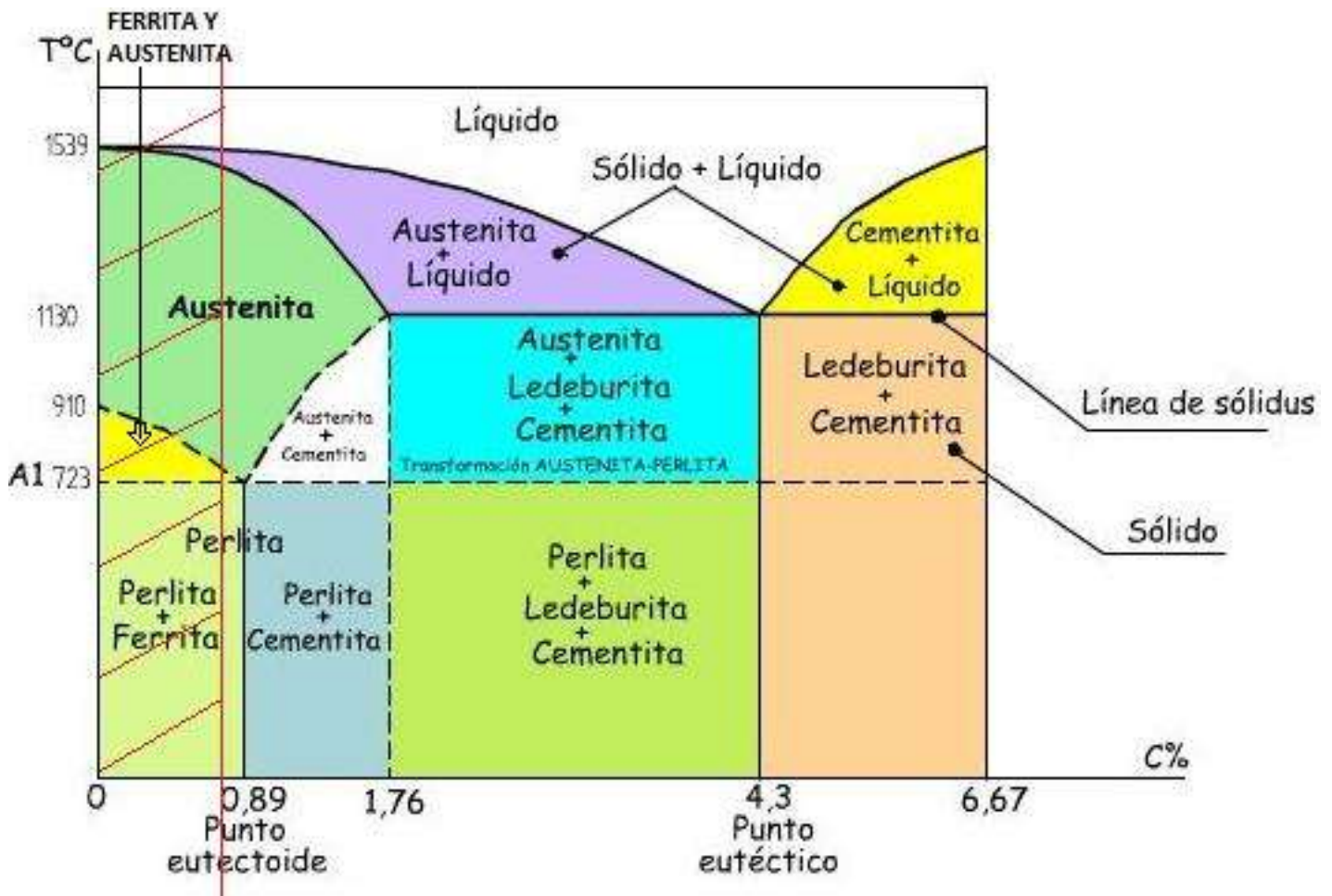


Fig. 14 Aceros producidos en Arcelor-Mittal (área marcada)

2.5 COLADA CONTINÚA

Del curso de **Colada continua del acero, elaborado e impartido por el Dr. Rodolfo Morales Dávila del IPN**, retomamos que la colada o vaciado, inventada en 1950 es uno de los procesos más antiguos que se conocen para trabajar los metales. Se denomina colada continua porque el producto sale sin interrupción de la máquina hasta que la alimentación de acero se haya agotado. Esto permite realizar piezas de una longitud ilimitada. Colada continua como se muestra en la Fig. 15 es un proceso donde se producen barras o planquillas que avanzan y se solidifican a medida que se va vertiendo el metal líquido en una lingotera sin fondo, que se alimenta indefinidamente.

Con este proceso se pueden formar, directamente del acero líquido, secciones semiacabadas sin tener que pasar por la fase de lingote y las etapas de recalentamiento y de laminación de desbaste.

El acero utilizado en este proceso es producto de la refinación del arrabioproveniente del alto horno. La producción de planquilla se inicia con la llegada de acero líquido a las máquinas de colada continua, donde por medio de moldes con chaquetas de enfriamiento y anillos de esparcido de agua se obtienen las planquillas con diferentes secciones transversales según los requerimientos del cliente.

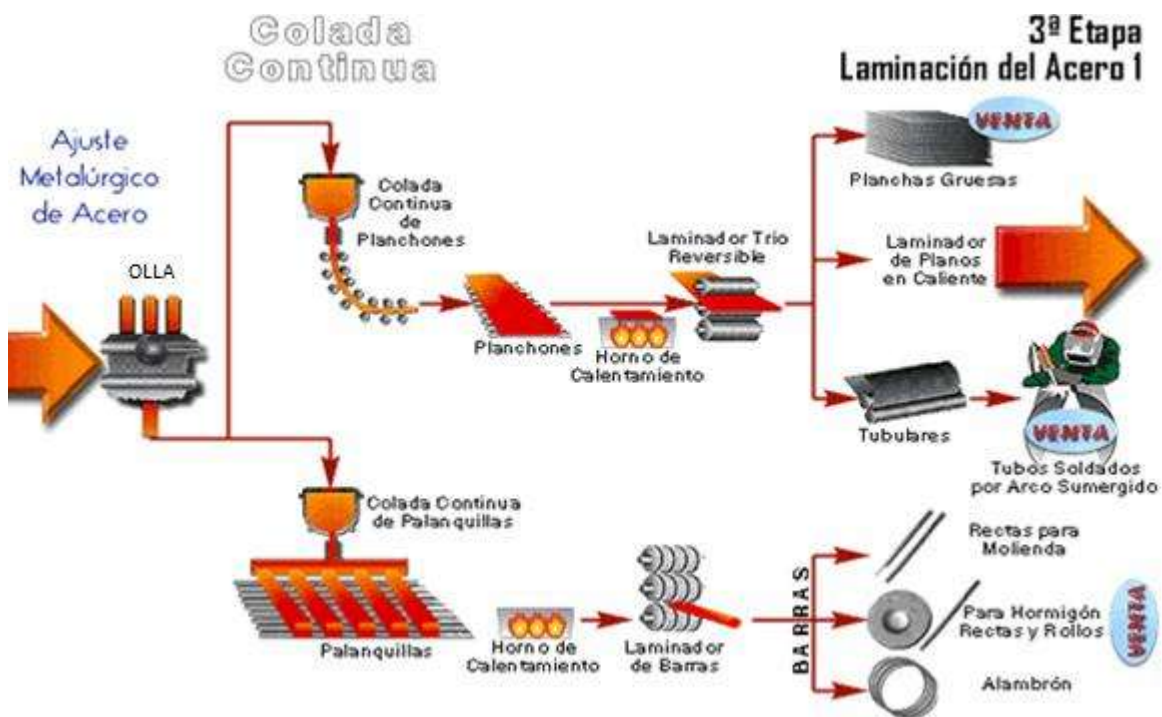


Fig. 15 Proceso de colada continua

A continuación se enlistan en la tabla 2 algunos tipos de aceros producidos en el área de Aceración y que son requeridos por el cliente con más frecuencia; pedidos de palanquilla con diferente longitud y sección.

Tabla 2 Composición química de aceros con producción frecuente en Arcelor-Mittal

TIPOS DE ACERO	COMPOSICIÓN QUÍMICA				
	C (Carbón)	Mn (Manganeso)	Si (Silicio)	P (fósforo)	S (Azufre)
BAJO CARBÓN					
1010	0.08 - 0.130	0.450 - 0.550	0.080 – 0.020	0.030 min.	0.030 min.
1008	0.090	0.300 – 0.450	0.140 min.	0.030 min.	0.030 min.
1006	0.070	0.200 – 0.350	0.120 min.	0.030 min.	0.030 min.
MEDIO CARBÓN					
S42-D4SB	0.400 – 0.450	1.100 – 1.300	0.150 – 0.300	0.040 min.	0.045 min.
S42-D2	0.420 – 0.450	1.000 – 1.100	0.150 – 0.250	0.040 min.	0.040 min.
S42-D3	0.400 – 0.430	0.950 – 1.150	0.150 – 0.300	0.040 min.	0.040 min.
ALTO CARBÓN					
1074-AC1	0.750 – 0.770	0.600 – 0.650	0.150 – 0.300	0.020 máx.	0.020 máx.
1065-AC1	0.670 – 0.690	0.600 – 0.650	0.150 – 0.300	0.020 máx.	0.020 máx.
1055-GAH1	0.490 – 0.520	0.700 – 0.800	0.100 – 0.200	0.015 máx.	0.015 máx.

Lo expuesto a continuación se basa en lo descrito en los **Manuales de Operación del Taller de Colada Continua**.

2.5.1 Máquina de colada continua

Las primeras máquinas de colada para producción de palanquilla fueron verticales con una longitud hasta de 51m., mientras que las modernas son curvas con tres puntos de doblaje que solo tienen 10m de elevación.

Desde el punto de vista de la calidad del producto, la máquina vertical es mejor, ya que carece de puntos de trabajo en caliente como son los puntos donde se dobla el billet (palanquilla). Por razones económicas y de diseño seguro las máquinas curvas (Fig. 16) han tomado preponderancia sobre las verticales con muy altas productividades.

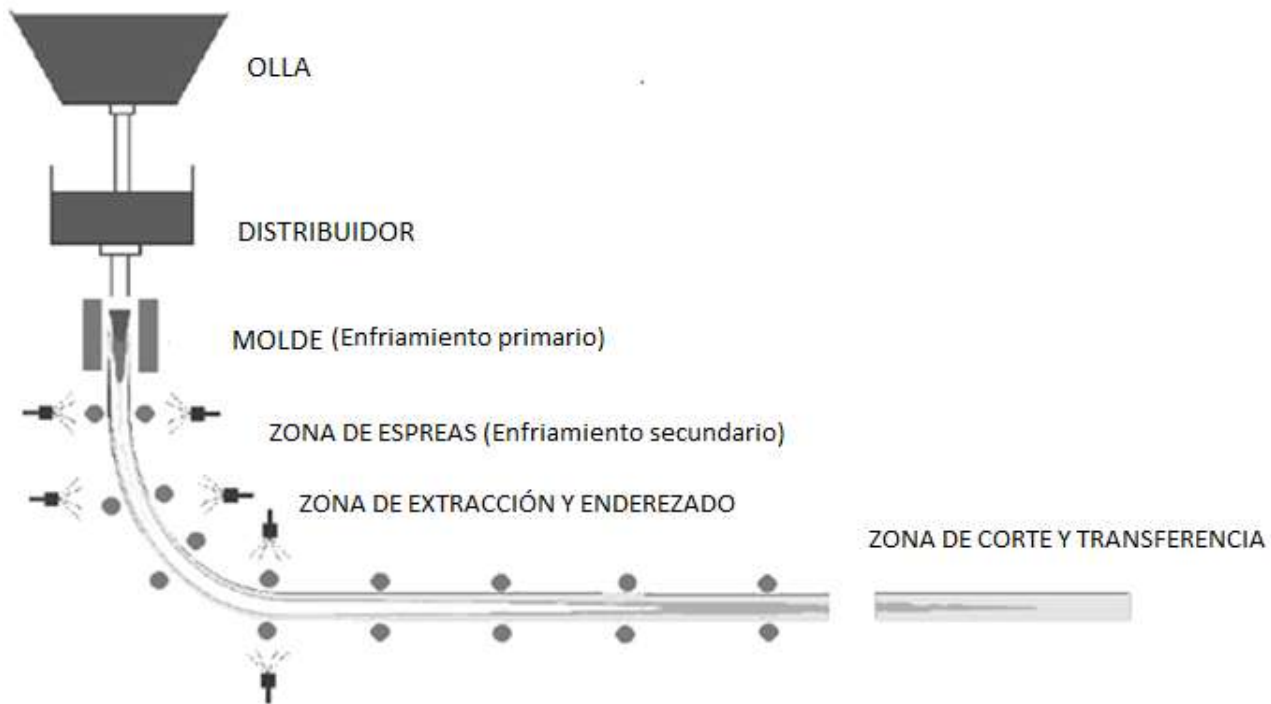


Fig. 16 Máquina curva de colada continua

El área de colada continua de la planta ARCELOR-MITTAL MEXICO LARGOS, cuenta con tres máquinas verticales curvas de seis hilos de producción cada una, con una capacidad de producción total de 6,837 Ton./Día (4200 piezas de 13m. de longitud y 127mm de sección) como se muestra en la Fig. 17.

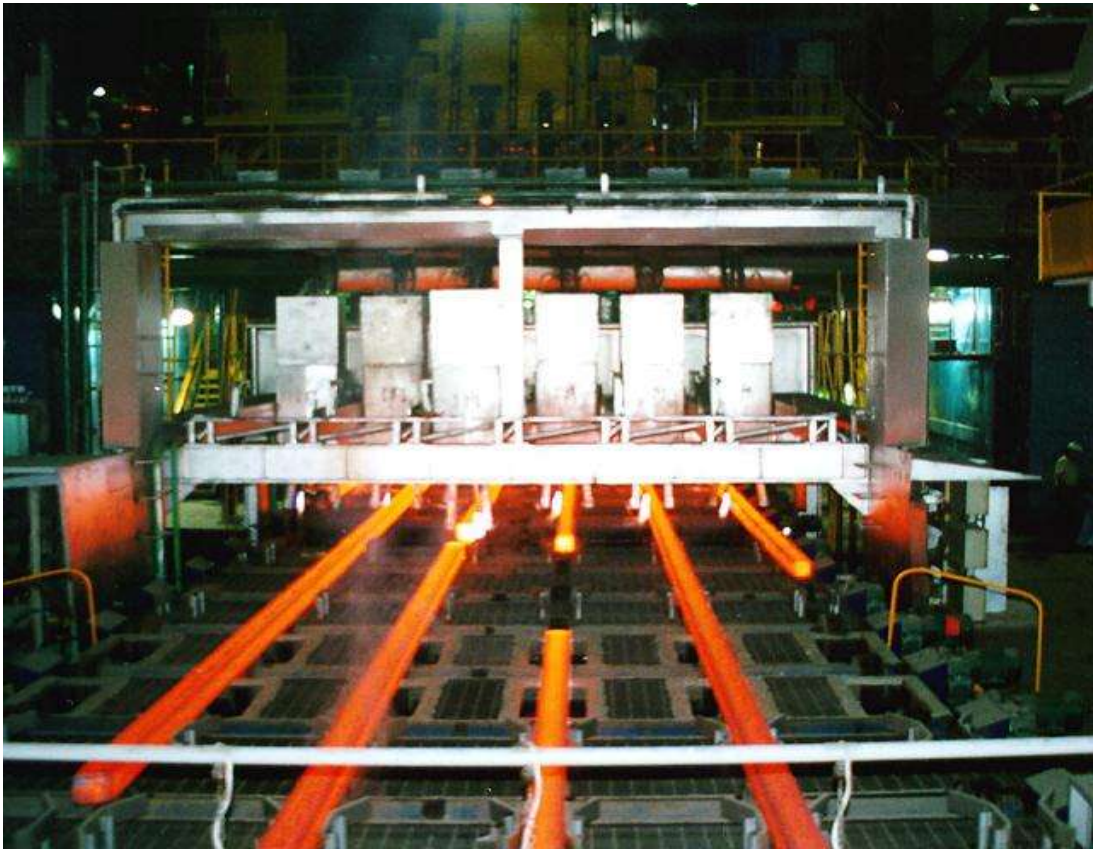


Fig. 17 Máquina de colada continua con 6 líneas en producción

Algunas máquinas de colada continua cuentan con una serie de adaptaciones tecnológicas tales como la agitación electromagnética que permite entre otras cosas: bajo nivel de inclusiones, evita la reoxidación y mejora la calidad superficial e interna del acero debido al uso del sistema de protección al chorro de acero líquido.

El detector de escoria, el intercambio automático de boquillas y la determinación en línea de la temperatura del acero en el distribuidor, son otras aplicaciones tecnológicas importantes a estas máquinas.

2.5.2 Olla

La olla de transportación (Fig. 18) es un recipiente con una capacidad de carga entre las 120 y 125 toneladas de acero líquido. Consiste en un recipiente cilíndrico de acero con un revestimiento interno de material refractario (concreto y ladrillo).

La olla izada por grúas viajeras, traslada el acero del horno olla o convertidores (BOF), hasta las máquinas de colada continua donde es vaciada sobre el distribuidor a través de una válvula situada en el fondo de la misma.

El material de revestimiento interno de las ollas tiene una vida útil de +/- 110 vidas, con éste desgaste son retiradas de circulación para su mantenimiento y renovación del material refractario.



Fig.18 Olla de vaciado

2.5.3 Distribuidor

El distribuidor de colada continua mostrado en la Fig. 19, es un recipiente intermedio para repartir el acero entre las líneas o moldes, tiene una forma de canoa con una longitud de 6.5m y una profundidad máxima de 1m.

Desde el punto de vista estrictamente científico está catalogado como un reactor continuono ideal en el cual existen una variedad de lo que son llamados volúmenes de diferentes características tales como: volumen muerto, volumen de mezcla completo (turbulento) y volumen de flujo tipo pistón.

Este distribuidor se traslada mediante un sistema de carros doble para permitir la posibilidad de cambiar de distribuidores a la brevedad de una forma secuencial.

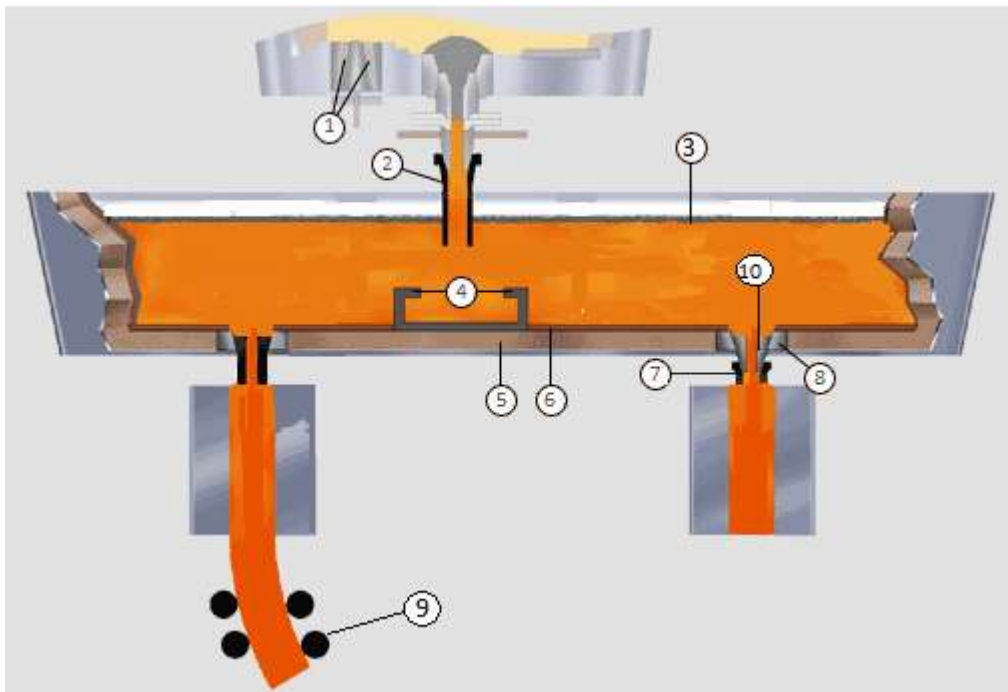


Fig.19 Distribuidor. 1.- Tapón poroso de la olla (inyección de argón o nitrógeno para la agitación); 2.- Buza o manga de grafito; 3.- Baño metálico; 4.- Inhibidor de turbulencia; 5.- Concreto refractario; 6.- Refractario de contacto (goneado); 7.- Anillos o mangas de inertización; 8.- Portaboquillas o taza; 9.- Rodillos enderezadores; 10.- Boquilla de óxido de zirconio.

2.5.4 Molde

La Fig. 20 muestra la parte más cuidadosamente estudiada de una máquina de colada: “el molde”. El molde está fabricado generalmente de cobre con alta conductividad térmica, enfriado con agua y equipado con un dispositivo que les permite un movimiento oscilatorio para evitar que el metal se adhiera a sus paredes. Es una lingotera abierta por ambos extremos y energicamente refrigerada, se forma una capa sólida en la vena de la colada que se cuela por su interior. Se hace descender la capa sólida llena de metal líquido que se desprende de la lingotera por contracción al enfriarse, para hacer progresar en el aire la solidificación a la totalidad de la barra.

Para el molde se han usado varias aleaciones de cobre, sin embargo, las más utilizadas son aquellas aleaciones de cobre desoxidadas con fósforo y las que contienen plata pues estas aleaciones son especialmente resistentes al suavizado evitando con ello la posibilidad de grietas longitudinales en su estructura.



Fig.20 Moldes para palanquilla.

Durante la producción es de suma importancia observar continuamente la limpieza interna del molde, además de estar libre rayas o deformaciones, esto para asegurar la calidad superficial e interna del producto (palanquilla).

2.5.5 Sistema de enfriamiento.

La zona de enfriamiento esta compuesta de un arreglo de espreas donde con agua se extrae alrededor del 60% del calor durante la solidificación de la palanquilla; de aquí la importancia del diseño de este sistema. En la sección de enfriamiento la barra se solidifica totalmente, en esta sección hay una batería de boquillas que rocían con agua pulverizada la barra y grupos de rodillos guía y rodillos soportes que la conducen. El enfriamiento debe ser uniforme y el mínimo indispensable.

Existen varios parámetros que influyen en la velocidad de extracción de calor con espreado de agua: flujo de agua, tamaño medio de la gota, ángulo de choque y características de mojabilidad, a menor ángulo de choque mayor mojabilidad. Todos estos parámetros fijan entonces las características de la eficiencia del sistema de enfriamiento y por lo tanto deben considerarse en el diseño y operación del mismo.

2.5.6 Unidades de corte

La unidad de corte de la Fig. 21, es una unidad semirobotica que viaja sobre unos rieles en los cuales descansan cuatro ruedas del carro que carga la máquina de oxicorte, abarcando ambos lados de la palanquilla.

Por medio de un dispositivo neumático es suministrado aire presurizado a las mordazas que sujetan la palanquilla y una señal del sistema de medición de la longitud de la pieza marca el inicio del procedimiento de corte usando gas natural y oxígeno.



Fig. 21 Moldes para palanquilla.

2.5.7 Mecanismo de transferencia

El área de transferencia se compone de una mesa de salida, 4 secciones de rodillos que desplazan las palanquillas hasta la cama de enfriamiento de la máquina y un sistema hidráulico de empujadores que las deposita en la parrilla de carga.

El traslado de la palanquillas (mostrado en la Fig. 22), transporta a la mismas, desde su salida del molde hasta la parrilla de carga, esto se realiza mediante un sistema electromecánico de rodillos movidos por motores eléctricos y donde una vez habilitada la pieza a la longitud requerida llega a la cama de descarga donde las palanquillas (ferromagnéticas) son tomadas por grúas viajeras para depositarlas en las estibas de enfriamiento.



Fig. 22 Zona de corte y transferencia

3.DESARROLLO DEL TRABAJO (METODOLOGÍA)

3.1 Antecedentes

La palanquilla producida llega a las estibas de enfriamiento a una temperatura promedio de 450 grados centígrados. En esta ubicación permanece alrededor de 3 horas; reduce su temperatura hasta los 150°C para luego ser inspeccionada por el departamento de calidad y autorizada para su traslado a los molinos de varilla o alambrón.

Cuando la palanquilla llega a los molinos, es estibada en espera de su consumo, y de acuerdo a los programas de producción podría tardar entre 12 y 48 horas para su laminación. Durante este tiempo de espera la palanquilla disminuye su temperatura hasta los 50 grados centígrados o menos.

El primer paso para la producción de varilla o alambrón es introducir las palanquillas en un horno de recalentamiento y elevar su temperatura hasta 1200 - 1250°C, para después proceder a su laminación (Fig. 23).

Para llevar a cabo este recalentamiento es necesario un consumo aproximado de 32 000 litros de combustóleo por turno.



Fig.23 Laminación de palanquilla

3.2 El proyecto

El proyecto consiste en cargar la palanquilla desde la parrilla de descarga de la máquina de colada hacia el transporte (tracto y plataforma) que llevará el material a los molinos. Llegando el material a laminación será introducido a los hornos de recalentamiento a la brevedad posible (350 °C o más) para evitar al máximo la pérdida de calor, reduciendo el consumo de combustible.

La eliminación del estibado de palanquilla en el piso, tanto en las áreas de aceración y laminación dan como resultado un ahorro sustancial de energía eléctrica, combustibles, horas hombre, consumibles y los riesgos potenciales de accidentes que rodean al proceso anterior del envío de material.

3.3 Modificaciones al proceso original

Los primeros cambios al proceso de traslado de palanquilla se desarrollaron de la siguiente manera:

Etapas 1.- Se modifican las plataformas de carga para trasladar la palanquilla a los molinos a 450 grados centígrados.

- a) Se duplica la altura de los travesaños que soportan las palanquillas, esto para incrementar la altura con la plataforma.
- b) Se instala sobre la plataforma una cama de ladrillo refractario (15cm de espesor) para protegerla de la radiación.

Etapas 2.- Las plataformas se vieron perjudicadas por la radiación de la palanquilla, además de molestias expresadas por los operadores del tracto debido al exceso de calor al transportar el material. Por lo anterior se realizaron otras modificaciones.

- a) Se triplica la altura de los travesaños que soportan las palanquillas, esto para incrementar más la altura con la plataforma.
- b) Se intercambia el ladrillo refractario por una capa de arena refractaria, pues el ladrillo se agrietaba constantemente perdiendo la plana el aislamiento.
- c) Se refuerza y aísla la mampara de protección entre la cabina del conductor y la plataforma de carga.
- d) Se instalan protecciones de vidrio sobre los faros de la plataforma para evitar su deformación.

Etapla 3.- Se elaboran los métodos de trabajo para la carga de palanquilla caliente.

- a) Operadores de grúa viajera.
- b) Auxiliar de envíos.
- c) Supervisor de envíos.
- d) Inspector de calidad.

Etapla 4.- Programa de producción.

Se implementa un programa de reuniones para coordinar los departamentos de producción, ventas, refinación de arrabio (BOF), colada continua (operación) y los molinos de barras (varilla) y alambrón; lo anterior para asegurar que las requisiciones de palanquilla caliente en los molinos sean satisfechas en tiempo y forma.



Fig. 24 Palanquilla estibada en piso

Este programa es el punto neurálgico del proyecto; la coordinación debe ser constante y precisa, manteniendo comunicación permanente entre las áreas involucradas para asegurar la llegada del material caliente requerido en los molinos.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como resultado de la implementación de este proyecto en el proceso, se obtuvieron reducciones importantes en la emisión de gases a la atmósfera, ahorros en los consumos de energía y combustible, así como la reducción en las horas hombre trabajadas frente al material caliente.

***** Reducción del 31.25% en la emisión de CO₂ a la atmósfera.***

***** Ahorro de 10,000 litros por turno de combustible.***

***** Ahorro de energía eléctrica en las maniobras de carga y descarga.***

***** Ahorro del 70% en pintura, crayones y brochas para codificación.***

***** Reducción de los riesgos potenciales de accidentes al reducir en un 80% el tiempo de contacto de los operarios con la palanquilla caliente.***

***** Como se observa a continuación en los diagramas 1 y 2 se optimizan 6 etapas de trabajo en el proceso de envío de palanquilla, además de ingresar el material caliente a los hornos de recalentamiento.***

El ahorro de energía, combustible, materiales de consumo, riesgos potenciales de accidentes y la disminución de emisiones de CO₂, se vieron reflejados desde el primer día de su aplicación.

Actualmente se trabaja en el mejoramiento continuo de las estrategias de comunicación y control de la producción, haciendo más eficaz la coordinación entre el departamento de ventas y las áreas de producción (BOF, colada continua y laminación), para evitar desfases en los programas establecidos.

Diagrama 1. Flujo del traslado de palanquilla fría a los laminadores.

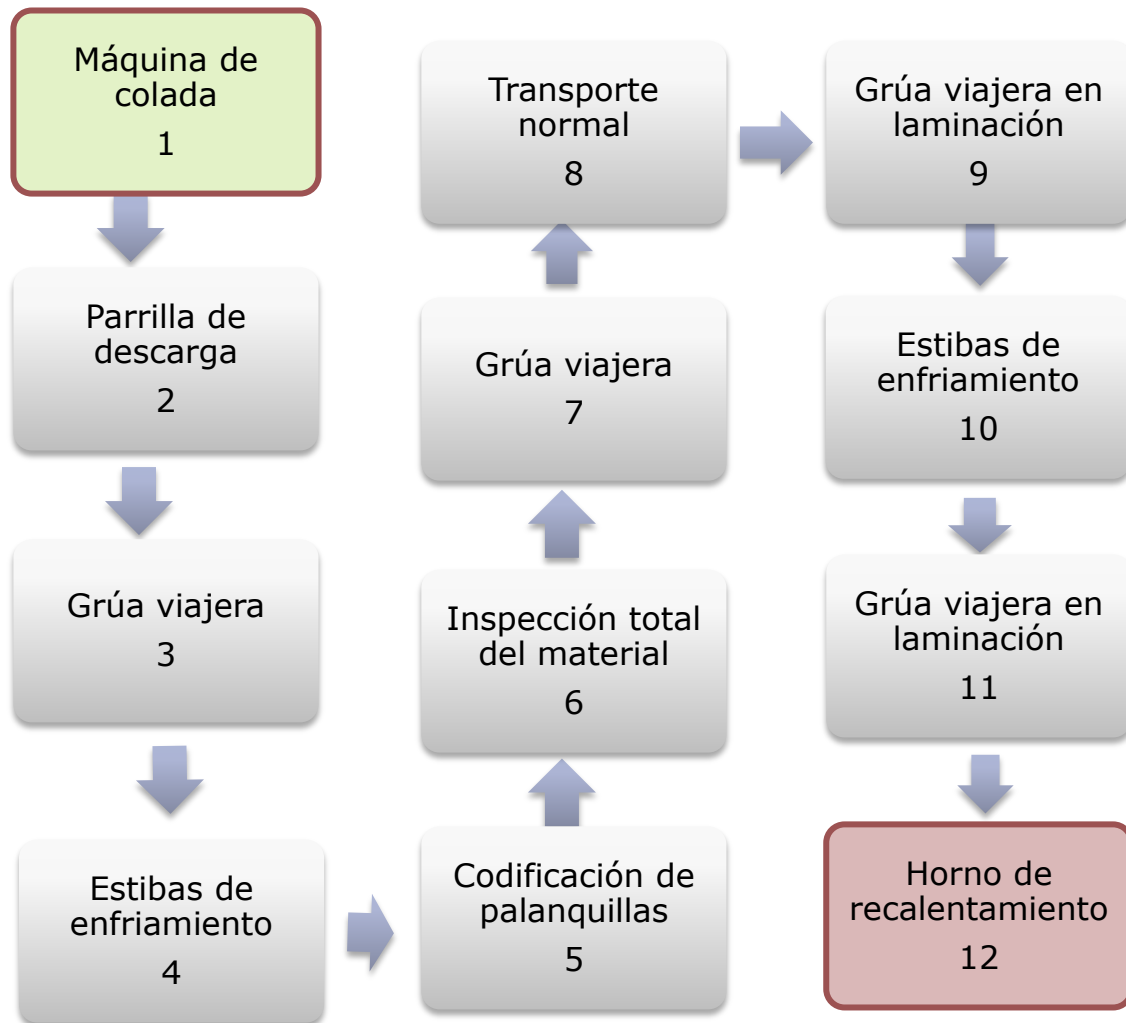
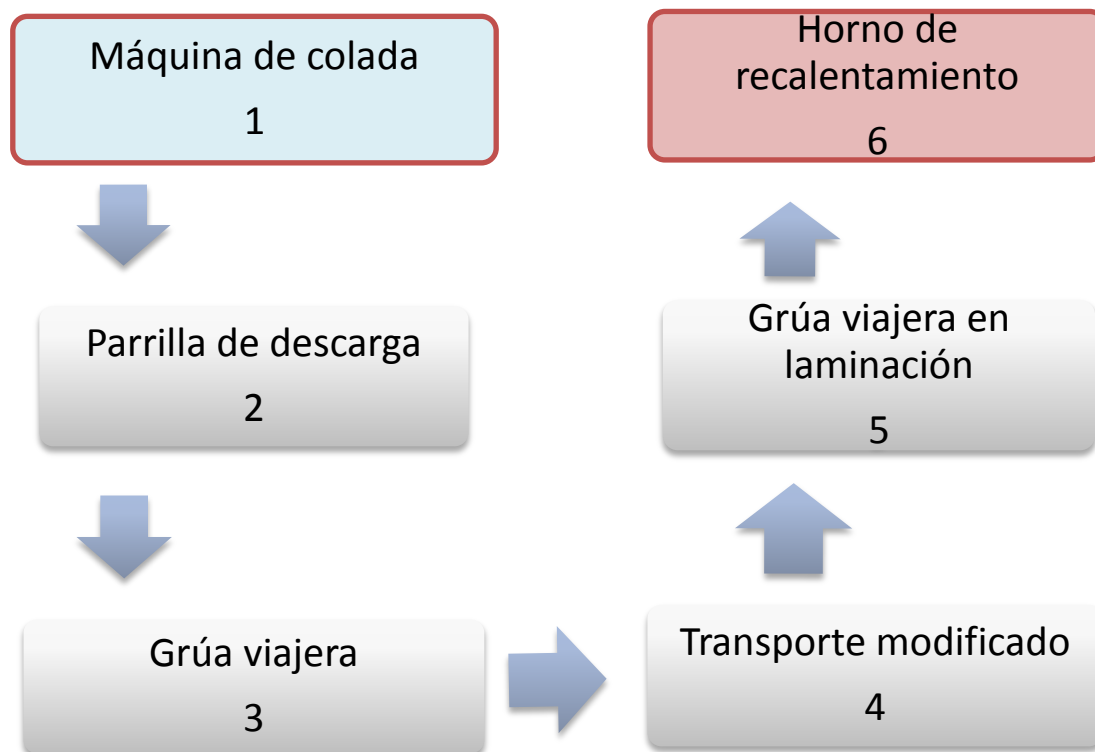


Diagrama 2. Flujo del traslado palanquilla caliente a los laminadores.



5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El envío de palanquilla caliente a más de 400°C, reduce en un 31.25% el consumo de combustóleo, que por consiguiente justifica la viabilidad inmediata del proyecto. No solamente baja la emisión de gases a la atmósfera sino los costos de producción de la palanquilla y reduce también de manera sustancial la exposición del personal con el material caliente en beneficio de su salud.

Recomendaciones

Basado en la experiencia de los resultados obtenidos en la calidad del material producido durante los últimos 10 años y debido a que no se realizará inspección en piso al material para su envío caliente, es importante seguir las recomendaciones siguientes:

- En conjunto, el área de operación y control de calidad deben realizar una observación constante del material desde la salida de la palanquilla del molde, en su trayecto por la zona de transferencia, en la cama de enfriamiento y en el momento en que la grúa estiba sobre el piso 24 piezas para su codificación.
- Tener una comunicación constante con el jefe de máquina de colada para reportar cualquier anomalía en la palanquilla.
- Monitoreo constante de los análisis químicos y metalúrgicos de todas las coladas producidas.
- Inspección de 06 piezas por las cuatro caras (líneas colando) por lo menos cada 4 hrs.
- La frecuencia en la inspección dependerá de los grados de acero que se están colando, donde el alto carbón se inspecciona colada tras colada; y el bajo y medio carbón cada cuatro horas o menos en algunos casos de aceros especiales o de nueva producción.

6. BIBLIOGRAFIA

Revista Digital Universitaria

10 de octubre 2007 • Volumen 8 Número 10 • ISSN: 1067-6079

Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático:

Una perspectiva desde las ciencias de la tierra

Margarita Caballero, Socorro Lozano, y Beatriz Ortega

Instituto de Geofísica, Instituto de Geología

Universidad Nacional Autónoma de México

Manual de Operación del Horno de Recalentamiento

Molino de Barras

Arcelor Mittal Largos

México Febrero 2008

Introducción al conocimiento de los materiales y a sus aplicaciones

Gil Bercero

José Ramón Barroso Herrero

Segundo Camacho López

Ana María Editorial UNED -(2010)

Tratamientos Térmicos de los Aceros

José Apraiz Barreiro

Décima edición 1984

Endurecimiento, revenido y tratamiento térmico

TUBAL CAIN, GUSTAVO GILI

Biblioteca practica del taller 1995

Curso de colada continúa del acero

Dr. Rodolfo Morales Dávila

IPN. Julio 1990

Conceptos básicos de reформación

Manual de capacitación HYL

Monterrey N.L. 1998.

Revista “NUESTRA VOLUNTAD”

Año 13, #111, septiembre-octubre, 2005.

Manuales de operación,

Taller de Colada Continua, Largos

ArcelorMittal 2008

7. ANEXOS

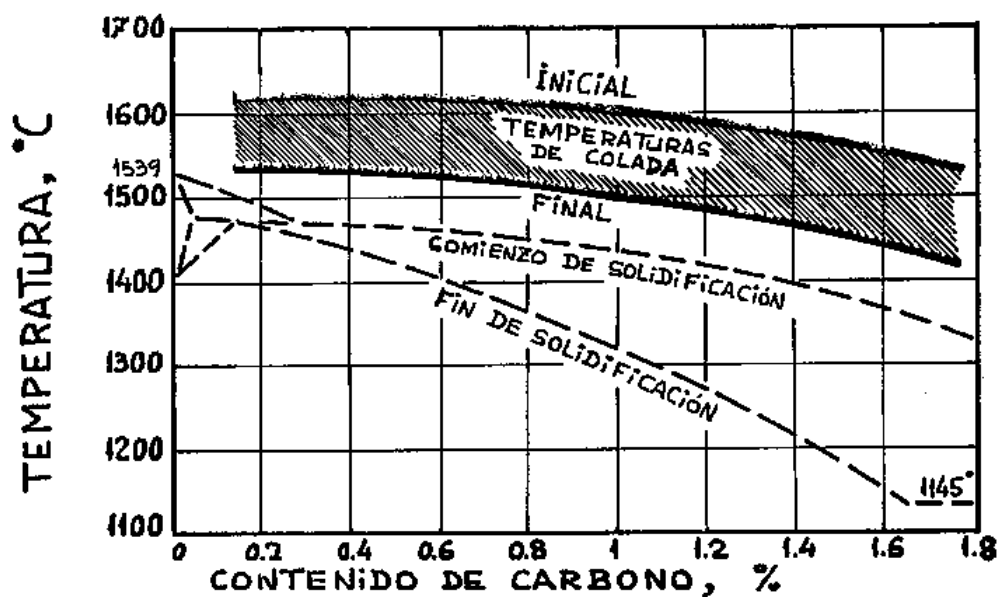


Fig.25 Temperatura de solidificación de aceros.

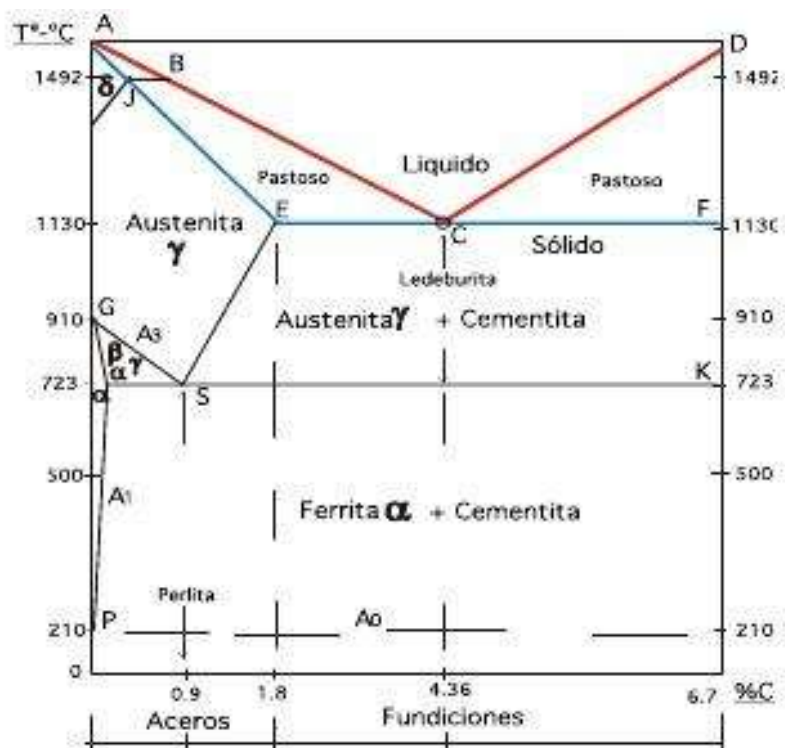


Fig.26 Diagrama hierro-carbón (aceros y fundiciones)

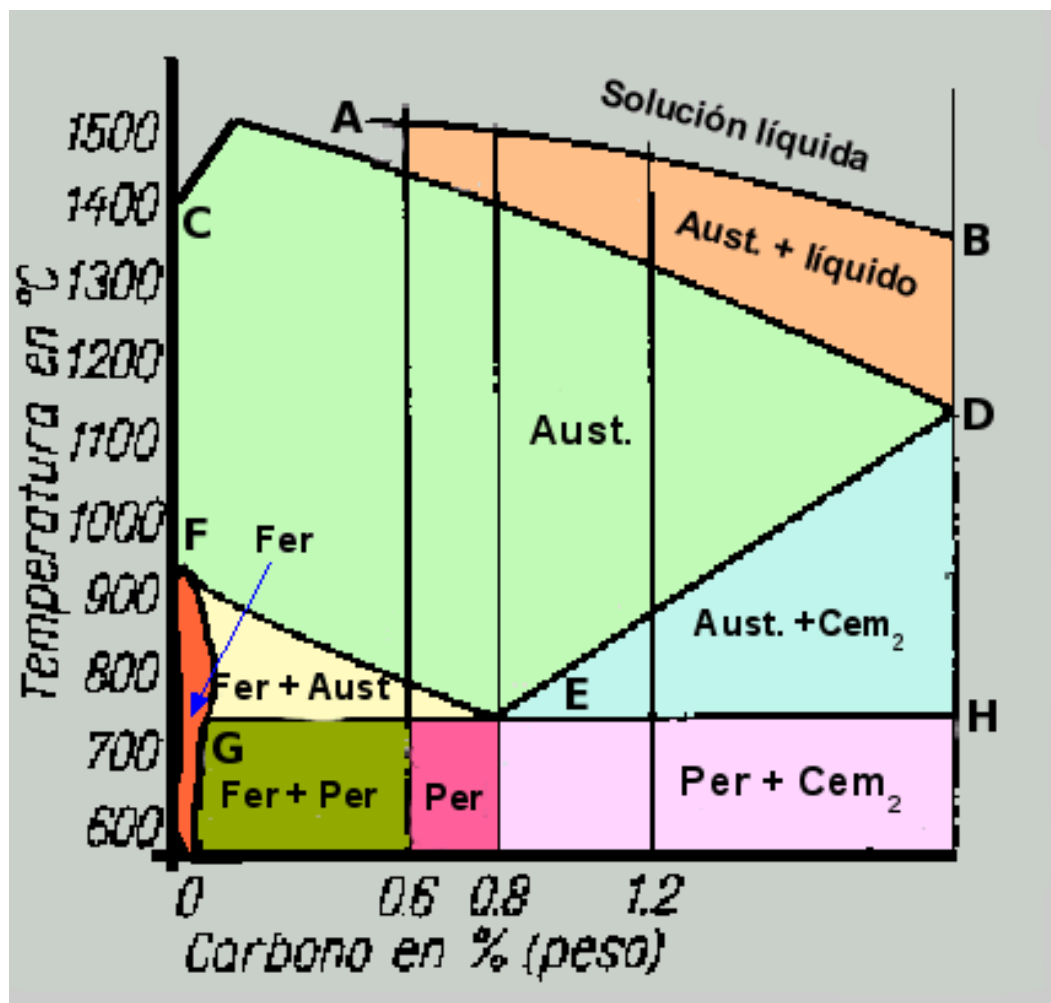


Fig.27 Diagrama hierro-carbón (aceros)