

6.- Tratamientos térmicos de los aceros

Son procesos en los cuales se puede modificar la micro estructura del material, obteniendo así mejor desempeño con garantías en los trabajos demandados.

Por Cristhyam Maya P.

El tratamiento térmico consiste en calentar el acero a una temperatura determinada, mantenerlo a esa temperatura durante un cierto tiempo hasta que se forme la estructura deseada y luego enfriarlo a la velocidad conveniente. Los factores temperatura-tiempo deben ser muy bien estudiados dependiendo del material, tamaño y forma de la pieza. Con el tratamiento conseguiremos modificar microscópicamente la estructura interna de los metales, produciéndose transformaciones de tipo físico, cambios de composición y propiedades permitiéndonos conseguir los siguientes objetivos:

- Estructura de mejor dureza y maquinabilidad.
- Eliminar tensiones internas y evitar deformaciones después del mecanizado.
- Estructura más homogénea.
- Máxima dureza y resistencia posible.
- Variar algunas de las propiedades físicas.

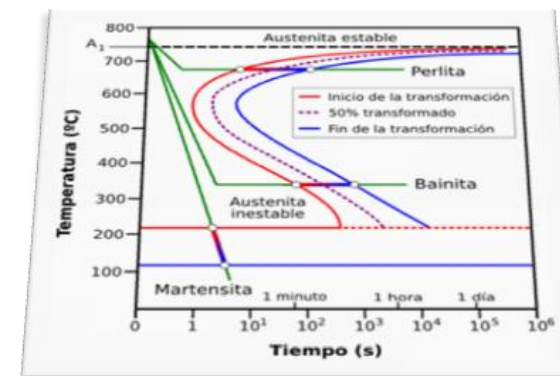
El tratamiento térmico en el material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales está



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 unas pautas o tiempos establecido.

Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba 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.

El tiempo y la temperatura son los factores principales y hay que fijarlos siempre de antemano, de acuerdo con la composición del acero, la forma y el tamaño de las piezas y las características que se desean obtener.



6.1.- Clasificación y equipos

**“Los tratamientos térmicos”
siempre se realizan en
estado sólido.**

Tratamientos Termo-físicos: Las características mecánicas de un material dependen tanto de su composición química como de la estructura cristalina que se tenga. Los tratamientos termo-físicos modifican esa estructura cristalina sin alterar la composición química, dando a los materiales unas características mecánicas específicas, realizando procesos de calentamiento y enfriamientos periódicos hasta obtener una estructura cristalina deseada. [1]

Los tratamientos termo-físicos más comunes son:

- Temple
- Recocido
- Revenido
- Normalizado

Tratamientos Termo-químicos: En estos tratamientos además de los cambios en la estructura del material, también se producen cambios en su composición química sobre su capa superficial, la difusión en estado sólido es el principio básico físico en el que se basan los tratamientos termo-químicos, también hay que tener en cuenta el medio o atmosfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. [1]

Los tratamientos termo-químicos más comunes son:

- Cementación
- Nitruración
- Cianuración



Tratamientos isotérmicos:

Reciben este nombre ciertos tratamientos, en los que el enfriamiento de las piezas no se hace de una forma regular y progresiva, sino que se interrumpe o modifica a diversas temperaturas durante ciertos intervalos, en los que permanece el material a temperatura constante durante un tiempo, que depende de la composición del acero de la masa de las piezas y los resultados que se quieren obtener, los más conocidos son:

- Martempering
- Austempering

Tratamientos termo-físicos:

TEMPLE

Es un proceso de calentamiento seguido de un enfriamiento, generalmente rápido con una velocidad mínima llamada "crítica".

El fin que se pretende conseguir con el ciclo del temple es aumentar la dureza y resistencia mecánica, transformando toda la masa en austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento rápido la austenita se convierte en martensita, que es el constituyente típico de los aceros templados.

El factor que caracteriza a la fase de enfriamiento es la velocidad del mismo que debe ser siempre superior a la crítica para obtener martensita. La velocidad crítica de los aceros al carbono es muy elevada. Los elementos de aleación disminuyen en general la velocidad crítica de temple y en algunos tipos de alta aleación es posible realizar el temple al aire. A estos aceros se les denomina "autotemplantes".



Los factores que influyen en la práctica del temple son:

- El tamaño de la pieza: cuanto más espesor tenga la pieza más hay que aumentar el ciclo de duración del proceso de calentamiento y de enfriamiento.
- La composición química del acero: en general los elementos de aleación facilitan el temple.
- El tamaño del grano: influye principalmente en la velocidad crítica del temple, tiene mayor templabilidad el de grano grueso.
- El medio de enfriamiento: el más adecuado para templar un acero es aquel que consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica. Los medios más utilizados son: aire, aceite, agua, baño de Plomo, baño de Mercurio, baño de sales fundidas y polímeros hidrosolubles.

Los tipos de temple son los siguientes: temple total o normal, temple escalonado martensítico o "martempering", temple escalonado bainítico o "austempering", temple interrumpido y tratamiento subcero.

Micro estructura del acero 1045 AISI SAE

Figura 1
Micro-estructura Acero antes del Temple



Micro estructura compuesta de ferrita y perlita, con baja resistencia mecánica y baja dureza acero 1045 AISI SAE ANTES del temple (figura 1).

Figura 2
Acero Templado (enfriado en Aire)

En esta figura vemos un tamaño de grano muy pequeño con respecto al acero antes del temple (figura 1). Teniendo en cuenta que el medio de enfriamiento fue de aire, el choque térmico no fue bastante fuerte para alcanzar la fase martensítica. Pero se logra buenas propiedades mecánicas como: resistencia mecánica y dureza.

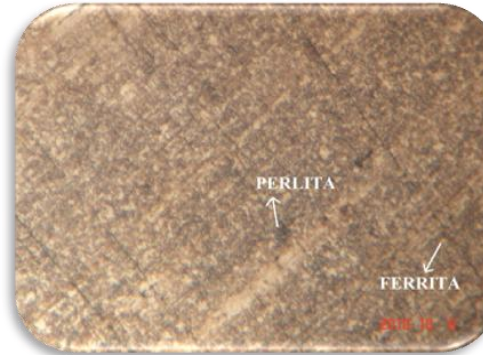


Figura 3
Acero Templado (enfriado en Agua + Hielo + Sal)

En esta grafica nos podemos dar cuenta que su micro estructura es 100% martensita ya que es enfriado con un medio muy severo, sus propiedades mecánicas son muy altas.

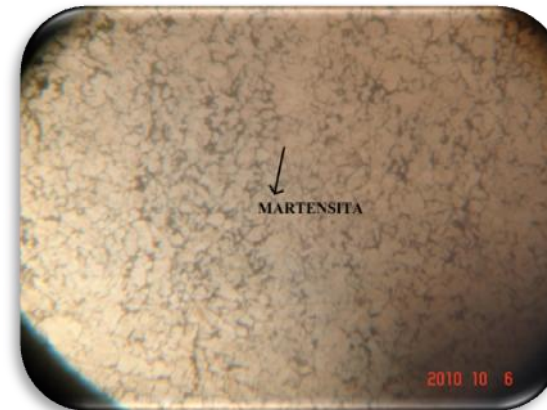


Figura 4
Acero Templado (enfriado en Aceite)



En esta figura podemos observar una microestructura que está formada por martensita y bainita (ferrita + perlita). La martensita se presenta en forma de agujas en los bordes de la pieza y el centro de la pieza ferrita + perlita. Como resultado en las propiedades mecánicas tenemos muy buena dureza en la parte exterior de la pieza y

con baja resiliencia en el interior de la pieza.

Figura 5
Acero Templado (enfriado en Chorro de Agua)



En esta figura observamos que hay presencia de martensita, ferrita y perlita. En sus propiedades mecánicas se obtiene alta dureza en partes donde se presenta la martensita y muy resiliente donde se encuentra la ferrita y la perlita ya que fue enfriado por un que no es uniforme.

Recocido: con este nombre se conocen varios tratamientos cuyo objeto principal es ablandar el material; otras veces también se desea regenerar su estructura o eliminar tensiones internas. Consiste en calentamientos a temperaturas adecuadas, seguidos generalmente de enfriamientos lentos. Las diferentes clases de recocidos que se emplean en la industria se pueden clasificar en tres grupos: recocidos con austenización completa, recocidos con austenización incompleta, y recocidos subcríticos.

Recocidos de austenización completa o de regeneración: en este caso el calentamiento se hace a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y luego el material se enfría muy lentamente. Sirve para ablandar el acero y regenerar su estructura.

Recocidos de austenización incompleta (globulares): consisten en calentamientos prolongados a temperaturas intermedias entre la crítica superior y la inferior, seguidos siempre de un enfriamiento lento. El fin que se persigue con estos recocidos es obtener la menor dureza posible y una estructura microscópica favorable para el mecanizado de las piezas.

Recocidos subcríticos: el calentamiento se hace por debajo de la temperatura crítica inferior, no teniendo tanta importancia la velocidad de enfriamiento, pudiendo incluso enfriarse el acero al aire sin que se endurezca. Por medio de este tratamiento se eliminan tensiones internas del material y se aumenta su ductilidad.

Revenido: es un tratamiento que se les da a las piezas de acero que han sido previamente templadas. Con este tratamiento, que consiste en un calentamiento a una temperatura inferior la crítica, se disminuye la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, quedando además el acero con la dureza o resistencia deseada.



Micro estructura del acero 1045 AISI SAE recocido

Figura 1
Acero (templado en Chorro de Agua)

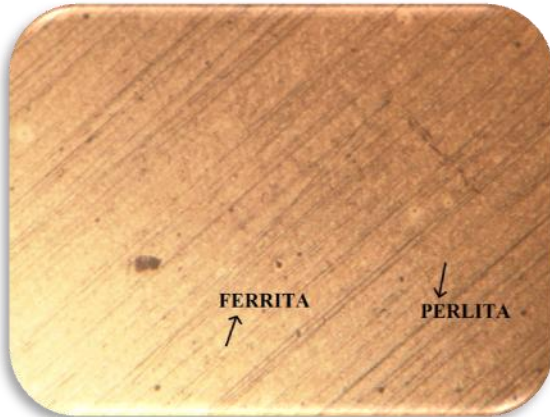


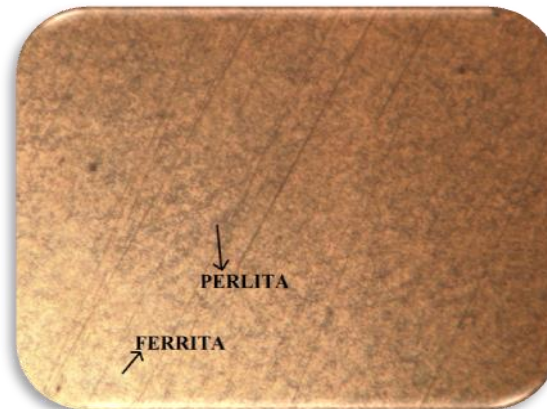
Figura 2
Acero (templado en Aceite)



Figura 3
Acero (templado en Aire)



Figura 4
Acero (templado en Agua + Hielo + Sal)



En estas imágenes podemos observar que hay presencia de perlita y ferrita, en algunas imágenes se nota una descarbonización. Propiedades mecánicas muy bajas ya que este tratamiento es para ablandar las piezas o aliviar fracturas después de haber realizado un temple.



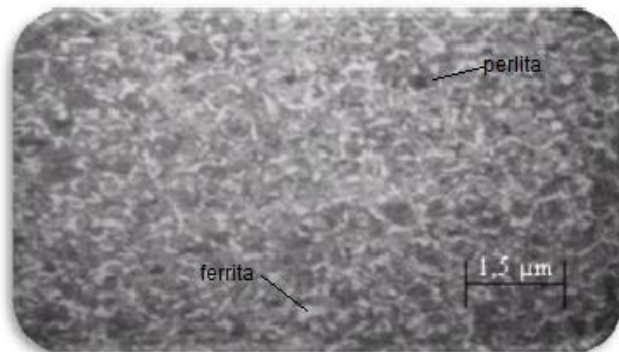
En estas imágenes podemos observar que hay presencia de perlita y ferrita, en algunas imágenes se nota una descarburización, propiedades mecánicas muy bajas ya que este tratamiento es para ablandar las piezas o aliviar fracturas después de haber realizado un temple.

Normalizado: Se realiza calentando el acero a una temperatura unos 100°C superior a la crítica y una vez austenizado se deja enfriar al aire tranquilo. La velocidad de enfriamiento es más lenta que en el temple y más rápida que en recocido.

Con este tratamiento se consigue afinar y homogeneizar la estructura. Este tratamiento es típico de los aceros al carbono de construcción de 0.15% a 0.60% de carbono.

A medida que aumenta el diámetro de la barra, el enfriamiento será más lento y por tanto la resistencia y el límite elástico disminuirán y el alargamiento aumentará ligeramente. Esta variación será más acusada cuanto más cerca del núcleo realicemos el ensayo.

Micro estructura del acero 1045 AISI SAE normalizado



En esta gráfica hay presencia de perlita y ferrita, como podemos observar la microestructura está fina y homogeneizada.

TRATAMIENTOS ISOTERMICOS



Martempering y Austempering:

Ambos procesos buscan obtener unas mejores propiedades en el acero.

El **Martempering** consiste en llevar el acero hasta temperatura de austenización y enfriarlo en un medio bien sea sales a temperatura por encima de la temperatura de transformación martensítica, inmediatamente la pieza ya haya homogeneizado su temperatura se enfría en un medio de menor velocidad de enfriamiento que el primero.

El **Austempering** consiste en llevar el acero hasta la temperatura de austenización, enfriarlo en un medio a temperatura por encima de la temperatura de transformación martensítica del acero, dejarlo allí por un largo tiempo con el fin de

alcanzar la transformación bainítica con lo que se consigue una herramienta con excelente tenacidad. [3]

Tratamientos termo-químicos:

Cementación: Consiste en el endurecimiento de la superficie externa del acero al bajo carbono, quedando el núcleo blando y dúctil. Como el carbono es el que genera la dureza en los aceros en el método de cementado se tiene la posibilidad de aumentar la cantidad de carbono en los aceros de bajo contenido de carbono antes de ser endurecido. El carbono se agrega al calentar al acero a su temperatura crítica mientras se encuentra en contacto con un material carbonoso. Los tres métodos de cementación más comunes son: cajas para carburación, baño líquido y



gas. La cementación se aplica a piezas que deben de ser resistentes al desgaste y a los golpes. Dureza superficial y resistencia. La temperatura usual de cementación es cercana a los 950°C y la profundidad de este tratamiento depende del tiempo y de la dureza deseada. Una vez obtenida la capa exterior rica en **C**, se endurece por temple.

Características de la cementación

- Endurece la superficie
- No afecta al corazón de la pieza
- Aumenta el carbono de la superficie
- Tratamientos Térmicos y Termoquímicos
- Se coloca la superficie en contacto con polvos de cementar (Productos cementantes)
- El enfriamiento es lento y se hace necesario un tratamiento térmico posterior
- Los engranajes suelen ser piezas que se cementan

Equipos para Cementación

Equipos típicos para cementación son los siguientes:

- **Cajas:** se cementa con mezcla cementante que rodea a la pieza en un recipiente cerrado, el cual se calienta a la temperatura adecuada durante el tiempo requerido y luego se enfría con lentitud. Este equipo no se presta para alta producción, siendo sus principales ventajas su economía, eficiencia y la no necesidad de una atmósfera preparada. En realidad, el agente cementante, son los gases que esta pasta que rodea al material desprende cuando se calienta en el horno.
- **Gas:** es más eficiente que el anterior, los ciclos son más controlados, el calentamiento más uniforme, es más limpio y requiere de menos espacio. La pieza se calienta en contacto con **CO** o con un hidrocarburo, por ejemplo alguna mezcla de gases que contenga butano, propano o metano, que fácilmente se descompone a la temperatura de cementación. El gas tiene una composición típica de

CO 20%, **H₂** 40% y **N₂** 40%, pudiendo modificarse la composición de éste para controlar el potencial de **C**.

Cianuración: Consiste en endurecer la superficie exterior de las piezas introduciendo carbono y nitrógeno. Posteriormente hay que templar las piezas. Se cementa colocando las piezas en baños de mezclas de sales fundidas, (cianuro, **HCN**), de modo que el carbono difunde desde el baño hacia el interior del metal. Produce una capa más profunda, más rica en **C** y menos **N**. Sus principales ventajas son: eliminación de oxidación, profundidad de la superficie dura y contenido de **C** uniformes y gran rapidez de penetración.

Desventaja de Cianuración:

- Lavado de las piezas posterior al tratamiento para prevenir la herrumbre, revisión de la composición del baño en forma periódica y alta peligrosidad de las sales de cianuro, dado que éstas son venenosas

Nitruración: Consiste en enriquecer la superficie de la pieza en nitrógeno calentándola en una atmósfera específica a temperatura comprendida entre 500 y 580 °C, formándose una capa de muy poca profundidad pero de dureza muy superior a la capa de cementado. Durante el proceso no hay deformaciones y obtenemos una mayor resistencia a la corrosión.

Realización de la nitruración

Si en un recinto, un horno de tratamiento térmico, se somete al amoníaco (**NH₃**) a temperaturas de 500° C, se descompone en nitrógeno e hidrógeno. El hidrógeno, más ligero, se separa del nitrógeno por diferencia de densidad. El nitrógeno liberado por la descomposición del amoníaco forma la atmósfera en el interior del horno que, en contacto con la superficie de hierro y a esa temperatura, forma nitruro de hierro, un compuesto de gran dureza pero frágil.



Si bien este tratamiento da gran dureza superficial a la pieza, la velocidad de penetración es muy lenta, aproximadamente 1 mm en 100 horas de tratamiento, pero no necesita de temple posterior.

La nitruración se da a piezas sometidas a grandes fuerzas de rozamiento y de carga como, por ejemplo, pistas de rodamientos, camisas de cilindros o piezas similares, que necesitan un núcleo con cierta plasticidad, que absorba golpes y vibraciones, y una superficie de gran dureza contra desgaste y deformaciones.

Características generales de la nitruración

- Endurece la superficie de la pieza
- Aumenta el volumen de la pieza
- Se emplean vapores de amoníaco
- Es un tratamiento muy lento
- Las piezas no requieren ningún otro tratamiento

Aceros de nitruración

No todos los aceros son aptos para nitrurar. Resulta conveniente que en la composición de la aleación haya una cierta cantidad de aluminio 1%. También es aplicable a los aceros inoxidables, aceros al cromo níquel y ciertas fundiciones al aluminio o al cromo.

No es aconsejable en aceros al carbono no aleados, el nitrógeno penetra rápidamente en la superficie de la pieza y la capa nitrurada puede desprenderse.

Práctica de la nitruración

Las piezas a nitrurar se mecanizan, y luego se templean y revienen, con objeto de que el núcleo adquiera una resistencia adecuada. Finalmente, una vez mecanizadas a las cotas definitivas, se procede a efectuar la nitruración.

Las piezas a nitrurar se colocan dentro de un horno eléctrico, con circulación de gas amoníaco por el interior, manteniendo la temperatura y

la concentración de nitrógeno durante todo el tiempo que dure el proceso hasta su finalización.

A aquellas partes de la pieza que no se deban nitrurar se les da un baño de estaño y plomo al 50%, que cubre la superficie de la pieza aislándola del nitrógeno.

HORNOS PARA LOS TRATAMIENTOS TERMICOS

Los hornos para calentar piezas pequeñas que se desea templear, son cajas metálicas que en su interior van recubiertas de material refractario para evitar pérdidas de calor, estas cajas llevan incorporadas varias resistencias eléctricas que producen el calentamiento de las piezas a la temperatura requerida y llevan incorporado un reloj programador para el control del tiempo de calentamiento y un pirómetro que facilita el conocimiento de la temperatura que hay en el interior del horno.

Los hornos más utilizados en la industria son:



Calentamiento por Gas: estos hornos pueden ser de tres tipos:

- *Fuego directo*, en el cual los productos de la combustión entran a la cámara de calentamiento.
- *Combustión indirecta*, de manera que la cámara del horno quede aislada de los productos de la combustión.
- *Tubos radiantes*, en el cual un gas en combustión dentro de tubos metálicos, que se proyecta dentro de la cámara de calentamiento, y que constituye la fuente de calor radiante.

El calentamiento por gas tiene como ventaja la economía y como desventaja la dificultad del control de la temperatura. La temperatura alcanzada por el horno suele llegar a 1400 °C y el control



de la atmósfera es muy difícil, por ello se emplea poco este proceso de calentamiento para tratamientos térmicos. [5]

	B5-T	B8-T	BMICRO	VSE8-T
Vacío máximo	$5 \cdot 10^{-6}$ mbar	$5 \cdot 10^{-6}$ mbar	$5 \cdot 10^{-6}$ mbar	$5 \cdot 10^{-6}$ mbar
Temperatura máxima	1250°C 1400°C	1250°C 1320°C	1250°C 1400°C	1250°C 1400°C
Presión máxima	1,5 bar	10 bar	5 bar	5 bar
Carga	horizonta 	horizonta 	vertical arriba	por vertical por abajo

Serie de hornos para: Temple gas, sinterizado y soldadura



Calentamiento por Resistencia Eléctrica: son equipos que operan a temperatura superior a la ambiental y que calientan piezas en su interior por acción directa o indirecta del flujo eléctrico, es decir, del movimiento de electrones en el seno de un material. [6]

Las partes básicas de un horno eléctrico son:

- *Cámara de calentamiento:* es el espacio físico donde se coloca la pieza a calentar.
- *Elementos eléctricos:* son numerosos y son los responsables

del calentamiento de la pieza, basándose en diferentes principios físicos.

- *Revestimiento aislante:* es necesario para minimizar las pérdidas de calor al ambiente.

Estos hornos se utilizan para conferir una característica especial a la pieza a tratar, como pueden ser los tratamientos térmicos superficiales de cementación o de carbonitruración, o que afecten a toda la pieza como el templado, recocido, envejecido, revenido etc.

La principal ventaja de este tipo de hornos frente a los hornos de gas es el mayor rendimiento energético que se consigue en los eléctricos, ya que la electricidad es una forma de energía de alta calidad.

Su uso es muy común y están muy extendidos, existiendo numerosos tipos adecuados para cada operación:

Intermitentes:

- De mufla.
- De pozo.
- De retorta giratoria.
- De solera móvil de carro
- De circulación forzada de aire o gas protector
- De campana

Hornos continuos:

- De solera de rodillos accionados.
- De cinta transportadora de malla de alambre.
- De solera giratoria.
- De catenaria.
- De banda flotante, etc.

Los hornos eléctricos tienen aplicación en muchos procesos industriales, siendo en muchos casos una opción alternativa a los hornos de combustión.

Procesos industriales:

- Fusión de materiales férricos. En España el 50 % de la producción de acero a partir de la fusión de chatarra se realiza en hornos de



arco eléctrico, utilizándose también cubilotes y hornos de crisol sin núcleo y de canales.

- Fusión de materiales no férricos y no metálicos. Producción de aleaciones de cobre y aluminio y de aleaciones de bajo punto de fusión en hornos de crisol.
- Calentamiento de materiales. Para laminación y trefilado, extrusión, forja, estampación y conformado en caliente
- Tratamiento térmico de metales y aleaciones. Para recocido, temple, revenido, normalizado, envejecimiento y otros procesos del acero, aluminio, magnesio, cobre, latón, bronce, etc.
- Recubrimiento de piezas metálicas y no metálicas mediante galvanización, estañado, esmaltado a base de plásticos, de polvos metálicos o de pinturas y barnices.

Capacidades mínimas adoptadas por los constructores de hornos			
Frecuencia	Fund. acero	Cobre y latón	Aluminio
50Hz	750kg	500kg	250kg
150Hz	250kg	250kg	100kg



Hornos Según su Atmosfera: En tratamientos térmicos se entiende por atmósfera la masa gaseosa encerrada dentro del horno que está en contacto con la pieza a tratar las atmósfera pueden tener carácter neutro, oxidante o reductor el papel desempeñado por la atmósfera controlada es doble, por una parte evita que se produzcan reacciones perjudiciales como la oxidación y la des-carbonización de las piezas. Por otra parte permite realizar las acciones previstas a saber, la reducción de óxidos superficiales y la eliminación de gas sean

absorbidas. Los encontramos de dos tipos:

- **En Vacío:** Se utiliza para sintetizar carbonos cementados y para el tratamiento térmico especial de aceros aleados se consiguen mediante bombas mecánicas y de difusión de aceite o mercurio. Las atmósferas neutras de argón helio y nitrógeno apenas se emplean debido al precio de estos gases y a las trazas de oxígeno que suelen contener. Las atmósferas carburantes o descarburantes obtenidas por combustión o disociación de mezclas de hidrocarburos (metano, propano, butano, gas natural), con aire estas suelen contener N₂, CO, H₂, CO₂, y pequeñas cantidades de vapor de agua.
- **Hornos de Atmosfera del Tipo de Generador Exotérmico o Endotérmico:** En el generador exotérmico de introducen hidrocarburos y aire secos limpios convenientemente dosificados, se queman en la cámara de combustión, se filtran y se separan en del agua. El gas seco resultante se introduce al horno de tratamiento térmico. La mezcla que se introduce al generador endotérmico es parecida a la inyectada en el exotérmico pero el generador endotérmico no tiene quemador sino los gases reaccionan entre sí en un catalizador calentado exageradamente [4]

BIBLIOGRAFIA:

- Tratamientos térmicos de los aceros. José Apraiz Barreiro 8ed. [1]
- <http://www.scribd.com/doc/2469673/Tratamientos-termicos>. [2]
- http://www.bohlerandina.com/spanish/b_2771.php [3]
- http://html.rincondelvago.com/tratamientos-termicos_1.html [4]
- <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/hornos-de-gas>



[5]

- <http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/hornos-electricos>

[6]

